

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2015/2016**

**AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DO CICLO  
URBANO DA ÁGUA DA EMPRESA ÁGUAS DO PORTO, E.M.**

**FÁBIO GABRIEL PEREIRA BERNARDO**

Dissertação submetida para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

---

**Presidente do Júri:** Professora Doutora Cidália Maria de Sousa Botelho  
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de  
Engenharia da Universidade do Porto

**Orientador académico:** Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia  
Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto

**Orientadora na empresa:** Engenheira Fernanda da Conceição de Abreu Lacerda  
Diretora Técnica da Águas do Porto, E.M.

**(julho 2016)**



Aos meus pais, ao meu irmão e aos meus amigos.

*“We forget that the water cycle and the life cycle are one”*

*Jacques Cousteau*



## Agradecimentos

A realização da presente dissertação não seria possível sem a ajuda de várias pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a sua elaboração e a quem manifesto um enorme obrigado:

Ao meu orientador académico, o Professor Doutor Rodrigo Maia, pela oportunidade, apoio, motivação, conselhos e sabedoria transmitidos.

À minha orientadora na empresa, a Engenheira Fernanda Lacerda, pela disponibilidade demonstrada no fornecimento de dados, esclarecimento de dúvidas, conselhos e motivação.

Aos meus dois orientadores agradeço ainda a realização periódica de reuniões, que permitiram o acompanhamento constante de todo o desenvolvimento da presente dissertação e a ultrapassagem de todas as dificuldades enfrentadas.

À Engenheira Elza Ferraz, que permitiu a recolha de dados relativos à ETAR de Sobreiras e da ETAR do Freixo, bem como a revisão da informação referente às duas ETAR.

Ao Professor Doutor Cheng, pela sua experiência e conhecimento transmitido e pelo fornecimento de dados fundamentais para o estudo da ETA de Lever.

Um agradecimento especial a todas as pessoas que me acolheram e tão bem me trataram na empresa, pelas experiências vividas, pelo apoio, pelos almoços e constante boa disposição, que me fizeram crescer nestes cerca de 5 meses que estive na Águas do Porto E.M. Assim, o meu mais sincero obrigado à Cláudia Costa, Joana Teixeira, Marisa Fernandes, Cristina Reis, Flávio Oliveira, Maria João, Paula Malheiro, Helena Rodrigues, Susana Tavares, Miguel Correia, Joana Araújo e Rita Cunha.

Um obrigado a todas as outras pessoas da Águas do Porto E.M. que me ajudaram a recolher os dados necessários para a realização desta dissertação e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro João Cardoso, pela sua experiência e conhecimento transmitidos, esclarecimento de dúvidas e conselhos.

Ao Álvaro Faria, aluno do 5º ano de Engenharia Civil, que também realizou a sua dissertação na Águas do Porto E.M., pelas conversas, apoio e motivação.

A todos os meus amigos da Faculdade, que me acompanharam nestes 5 anos, pelos bons momentos vividos, boa disposição, ajuda e motivação.

Ao meu Pai, Mãe e Irmão, que me viram crescer e me permitiram ser alguém na vida, pelo apoio incondicional e amor.

Ao Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI) por ter permitido a utilização da versão completa do *software* SimaPro, que enriqueceu o conteúdo da presente dissertação.

Por fim, à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e a todos os professores, pela formação académica e todo o conhecimento transmitido.



## Resumo

A presente dissertação teve como objetivo principal a realização de uma Avaliação da Ecoeficiência, através de uma perspetiva de Avaliação de Ciclo de Vida e seguindo as orientações definidas na norma ISO 14045:2012. Esta Avaliação da Ecoeficiência foi aplicada ao sistema de gestão do ciclo urbano da água da cidade do Porto, gerido pela Águas do Porto E.M.

O sistema em estudo divide-se em 5 etapas, nomeadamente a Captação e Tratamento de Água, Distribuição, Drenagem de Águas Residuais, Tratamento de Águas Residuais e Serviços Administrativos, sendo que nesta última etapa é incluída a sede da empresa e a sua frota de veículos. Foram consideradas as atividades de *Foreground*, referentes à ação direta das atividades realizadas pela empresa e as atividades de *Background*, associadas à produção de materiais e energia utilizadas em todo o processo. A unidade funcional considerada foi o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável aos consumidores. Foi utilizada a metodologia ReCiPe 2008 e o *software* SimaPro 8, para realizar a Avaliação de Ciclo de Vida. O indicador económico utilizado foi o volume de negócios anual da Águas do Porto E.M. Desta forma, foi calculada a ecoeficiência, dividindo os impactes ambientais de cada categoria de impacto, pelo indicador económico selecionado.

Foi apresentada e analisada com maior detalhe a informação referente ao ano de 2015, tendo sido posteriormente realizada uma recolha da mesma informação para o espaço temporal entre 2006 e 2015, de forma a realizar um histórico da evolução, tanto da Avaliação de Ciclo de Vida, como da Avaliação de Ecoeficiência.

No ano de 2015, as etapas de Captação e Tratamento de Água, bem como o Tratamento de Águas Residuais, foram as que mais contribuíram para as categorias de impacto ambiental analisadas. A eletricidade foi a principal componente a contribuir para a maioria dessas categorias, sendo também importantes as emissões para a água das ETAR e a produção dos reagentes químicos utilizados.

Relativamente à evolução dos resultados de ecoeficiência, verificou-se que a redução das perdas de água na etapa de Distribuição permitiu uma melhoria da ecoeficiência ao longo dos anos, diminuindo a quantidade de água comprada à Águas do Norte S.A. e consequentes consumos elétricos e de reagentes aplicados no tratamento. A implementação do Projeto Porto Gravítico permitiu reduzir de forma acentuada o consumo elétrico das estações elevatórias na Distribuição de Água, traduzindo-se numa redução dos impactes e consequente melhoria da ecoeficiência.

Foram avaliadas medidas que a empresa pretende implementar, tendo-se verificado que a aplicação conjunta de painéis solares e cogeração é a medida que apresenta maior benefício a nível de ecoeficiência. Em segundo lugar, surge a redução da perda de água para 15%, que permite assim reduzir os impactes na etapa de Captação e Tratamento de Água. De seguida surge a implementação de um sistema de cogeração e, posteriormente, a aplicação de painéis solares, ou seja, a aplicação de forma individual. Por fim, a redução de perdas para 19,2% (valor de 2016) e a utilização de carros elétricos surgem como as menos favoráveis, comparativamente às anteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Ecoeficiência, Avaliação de Ciclo de Vida, ISO 14045:2012, Indicadores, Ciclo Urbano da Água





## **Abstract**

The main objective of this thesis was to conduct an eco-efficiency evaluation, from a Life Cycle Assessment perspective and following the guidelines set out in ISO 14045: 2012. This evaluation of the Eco-efficiency was applied to the urban water cycle management system of Porto city, managed by Águas do Porto E.M.

This system is divided in five stages, namely Water Abstraction and Treatment, Water Supply, Wastewater Drainage, Wastewater Treatment, and Administrative Services, including the company's headquarters and its vehicle fleet in the latter stage. Foreground activities, which result from the company's actions, and Background activities, associated with the production of materials and energy used in the whole process, were considered. The functional unit considered was the supply of 1 m<sup>3</sup> of drinking water to consumers. To perform a Life Cycle Assessment, the ReCiPe 2008 methodology and the SimaPro 8 software were used. The economic indicator used was Águas do Porto E.M.'s yearly turnover. Thus, the eco-efficiency was calculated dividing the environmental impacts of each impact category, by the selected economic indicator.

The information regarding year 2015 was presented and analyzed in greater detail, and subsequently, a collection of the same information in the timeline between 2006 and 2015 was undertaken, in order to establish an historical evolution of both the Life Cycle Assessment and Eco-Efficiency Evaluation.

In 2015, both Water Abstraction and Treatment, and Wastewater Treatment stages were the ones that contributed most to the impact categories analysed. Electricity was the main component contributing to most impacts, alongside with emissions from the wastewater treatment plants and production of chemical reagents.

With regards to the evolution of the eco-efficiency results, it was found that the reduction of water losses in the distribution stage led to an improvement of eco-efficiency results over the years, reducing the amount of water purchased from Águas do Norte S.A. and inherent consumptions of electricity and reagents necessary to the water treatment. The implementation of "Porto Gravítico Project" has sharply reduced the electricity consumption in water pumping stations, resulting in the reduction of the impacts and consequent improvement of eco-efficiency.

The measures the company plans to implement were evaluated; it is noticeable that the joint application of solar panels and co-generation is the most beneficial measure, in terms of eco-efficiency. In second place comes the reduction of water losses to 15%, thus enabling the reduction of the impacts on the Water Abstraction stage. Then comes the implementation of a co-generation system, and finally the application of solar panels, considering the application of each one individually. Finally, the reduction of water losses to 19,2% (value in 2016), and the use of electric cars appear to be the less favorable when compared to the former.

**KEYWORDS:** Eco-efficiency, Life Cycle Assessment, ISO 14045:2012, Indicators, Urban Water Cycle



## Índice Geral

|   |          |
|---|----------|
| Agradecimentos .....  | i        |
| Resumo .....  | iii      |
| Abstract .....  | v        |
| <br>  |          |
| <b>1 Introdução .....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1 Enquadramento .....   | 1        |
| 1.2 Objetivos .....   | 2        |
| 1.3 Estrutura da Dissertação .....  | 2        |
| <b>2 Fundamentos Teóricos .....</b>   | <b>5</b> |
| 2.1 A humanidade e o ambiente .....   | 5        |
| 2.2 Desenvolvimento Sustentável .....   | 6        |
| 2.3 Desenvolvimento Sustentável no contexto empresarial .....                 | 7        |
| 2.4 Ecoeficiência .....   | 8        |
| 2.4.1 Componente Ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) .....           | 11       |
| 2.4.2 Metodologias e Softwares de Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida ..... | 14       |
| 2.4.2.1 Metodologias .....  | 14       |
| 2.4.2.1.1 CML-IA .....  | 15       |
| 2.4.2.1.2 Eco-Indicator 99 .....  | 15       |
| 2.4.2.1.3 ReCiPe 2008 .....   | 17       |
| 2.4.2.2 Softwares .....   | 18       |
| 2.4.3 Componente Económica .....  | 19       |
| 2.4.4 Estudos realizados ao ciclo urbano da água .....                        | 19       |
| 2.4.4.1 Lemos <i>et al.</i> , (2013) .....                                    | 21       |
| 2.4.4.2 Amores <i>et al.</i> , (2013) .....                                   | 22       |
| 2.4.4.3 Barjoveanu <i>et al.</i> , (2013) .....                               | 22       |
| 2.4.4.4 Friedrich <i>et al.</i> , (2009) .....                                | 23       |
| 2.4.4.5 Lassaux <i>et al.</i> , (2007) .....                                  | 23       |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.4.4.6  | Loubet <i>et al.</i> , (2014).....                | 24        |
| 2.4.4.7  | AQUAENVEC .....                                   | 25        |
| 2.4.4.8  | EcoWater.....                                     | 25        |
| <b>3</b> | <b>Caracterização do Caso de Estudo .....</b>     | <b>27</b> |
| 3.1      | Setor da Água em Portugal .....                   | 27        |
| 3.2      | Apresentação da Águas do Porto, E.M.....          | 28        |
| 3.3      | Ciclo Urbano da Água na cidade do Porto .....     | 29        |
| 3.3.1    | Sistema de Distribuição de Água .....             | 29        |
| 3.3.1.1  | Sistema em alta .....                             | 29        |
| 3.3.1.2  | Sistema em baixa .....                            | 30        |
| 3.3.1.3  | Aquisição de Água.....                            | 31        |
| 3.3.1.4  | Venda de Água.....                                | 32        |
| 3.3.1.5  | Água Não Faturada .....                           | 33        |
| 3.3.1.6  | Zonas de Medição e Controlo (ZMC) .....           | 34        |
| 3.3.1.7  | Controlo de pressão na rede .....                 | 34        |
| 3.3.2    | Drenagem de Águas Residuais .....                 | 35        |
| 3.3.3    | Estações de Tratamento de Águas Residuais .....   | 35        |
| 3.3.3.1  | ETAR de Sobreiras.....                            | 35        |
| 3.3.3.2  | ETAR do Freixo .....                              | 36        |
| 3.3.3.3  | Controlo analítico de Águas Residuais .....       | 37        |
| 3.3.4    | Drenagem de Águas Pluviais.....                   | 38        |
| 3.3.5    | Ribeiras do Porto .....                           | 38        |
| 3.3.6    | Praias do Porto .....                             | 39        |
| 3.3.7    | Eficiência Energética e Energias Renováveis ..... | 39        |
| <b>4</b> | <b>Avaliação da Ecoeficiência .....</b>           | <b>41</b> |
| 4.1      | Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) .....            | 41        |
| 4.1.1    | Definição de Objetivo e Âmbito.....               | 41        |
| 4.1.2    | Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....            | 43        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.2.1   | Captação e Estação de Tratamento de Água (ETA) .....                  | 44        |
| 4.1.2.2   | Distribuição de Água.....   | 46        |
| 4.1.2.3   | Drenagem de Águas Residuais .....                                     | 49        |
| 4.1.2.4   | Tratamento de Água Residual .....                                     | 51        |
| 4.1.2.4.1 | ETAR de Sobreiras .....   | 52        |
| 4.1.2.4.2 | ETAR do Freixo .....  | 54        |
| 4.1.2.5   | Serviços Administrativos.....   | 57        |
| 4.1.3     | Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (AICV) .....                    | 58        |
| 4.1.3.1   | AICV – Seleção das Categorias de Impacte .....                        | 59        |
| 4.1.3.2   | AICV – Classificação .....  | 59        |
| 4.1.3.3   | AICV – Caracterização .....   | 59        |
| 4.1.4     | Resultados de ACV relativos às atividades de Foreground.....          | 59        |
| 4.1.5     | Obtenção dos resultados de ACV das atividades Background .....        | 60        |
| 4.1.6     | Resultados de ACV do sistema produtivo completo.....                  | 60        |
| 4.2       | Avaliação do indicador económico .....                                | 63        |
| 4.3       | Avaliação da Ecoeficiência .....                                      | 64        |
| <b>5</b>  | <b>Discussão de Resultados .....</b>                                  | <b>67</b> |
| 5.1       | Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida em 2015.....                 | 67        |
| 5.1.1     | Contribuição relativa de cada etapa do sistema no impacte total.....  | 68        |
| 5.1.2     | Análise detalhada de cada etapa em 2015.....                          | 70        |
| 5.2       | Histórico da evolução da ecoeficiência e dos resultados de ACV .....  | 76        |
| 5.2.1     | Evolução da ecoeficiência .....                                       | 77        |
| 5.2.2     | Consumo elétrico e produção da tubagem na Distribuição e Drenagem.... | 79        |
| 5.2.3     | Evolução dos impactes do consumo elétrico .....                       | 81        |
| 5.2.4     | Redução de perdas na melhoria da ecoeficiência.....                   | 82        |
| <b>6</b>  | <b>Medidas a implementar para a melhoria da ecoeficiência .....</b>   | <b>83</b> |
| 6.1       | Carros Elétricos.....   | 83        |
| 6.2       | Painéis Solares .....   | 84        |

|  |           |
|--|-----------|
| 6.3 Cogeração na ETAR do Freixo .....                          | 84        |
| 6.4 Redução de perdas .....                                    | 85        |
| 6.5 Comparação dos cenários de melhoria da ecoeficiência ..... | 85        |
| <b>7 Conclusões e Perspetivas Futuras.....</b>                 | <b>87</b> |
| 7.1 Conclusões.....  | 87        |
| 7.2 Trabalhos Futuros .....                                    | 89        |
| <b>Bibliografia.....</b>                                       | <b>91</b> |
| <b>Anexos.....</b>   | <b>95</b> |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CASTANHEIRA & GOUVEIA, 2004) .....   | 6  |
| FIGURA 2 - ETAPAS DA AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA (LOURENÇO, 2013) .....   | 10 |
| FIGURA 3 - RÓTULO DOS PRODUTOS SUJEITOS A UMA AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA (BASF, 2004) .....  | 10 |
| FIGURA 4 - FASES DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (IMAGEM ADAPTADA DE ISO 14040:2006) .....   | 11 |
| FIGURA 5 - ABORDAGEM <i>MIDPOINT</i> E <i>ENDPOINT</i> (ISO, 2010) .....   | 13 |
| FIGURA 6 - EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE DE CICLO DE VIDA (PROSUITE, 2013) .....   | 14 |
| FIGURA 7 - METODOLOGIA ECO-INDICATOR 99 (COMANDARU <i>ET AL.</i> 2012) .....   | 16 |
| FIGURA 8 - GESTÃO INTEGRADA DO CICLO URBANO DA ÁGUA (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 29 |
| FIGURA 9 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO PORTO (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....   | 31 |
| FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DA ÁGUA ADQUIRIDA (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....   | 32 |
| FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DA ÁGUA FATURADA (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 32 |
| FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DA ÁGUA NÃO FATURADA (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 33 |
| FIGURA 13 - 18 ZMC DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO PORTO (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 34 |
| FIGURA 14 - SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS DO PORTO (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 35 |
| FIGURA 15 - RIBEIRAS DA CIDADE DO PORTO (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 38 |
| FIGURA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BALNEARES (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....   | 39 |
| FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA .....  | 40 |
| FIGURA 18 - FRONTEIRA DO SISTEMA PRODUTIVO A VERMELHO E ATIVIDADES DE <i>FOREGROUND</i> E<br><i>BACKGROUND</i> ENGLOBADAS PELA LINHA AMARELA ..... | 42 |
| FIGURA 19 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA .....  | 46 |
| FIGURA 20 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA .....   | 48 |
| FIGURA 21 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS .....  | 50 |
| FIGURA 22 – ANÁLISE DE CADA ETAR NA ETAPA DE TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUAL EM CADA ETAR .....  | 51 |
| FIGURA 23 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAR DE SOBREIRAS .....   | 52 |
| FIGURA 24 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAR DO FREIXO .....  | 55 |
| FIGURA 25 - ENTRADAS E SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS .....   | 57 |
| FIGURA 26 - EVOLUÇÃO DO VOLUME DE NEGÓCIOS DA ÁGUAS DO PORTO E.M. ....   | 63 |
| FIGURA 27 - COMPARAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DO <i>FOREGROUND</i> E <i>BACKGROUND</i> NO IMPACTE TOTAL .....   | 67 |
| FIGURA 28 - RESULTADOS ACV DO SISTEMA PRODUTIVO COMPLETO COM CONTRIBUIÇÃO DE CADA ETAR ....  | 68 |
| FIGURA 29 - RESULTADOS DA CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DA ÁGUA .....  | 71 |
| FIGURA 30 - RESULTADOS DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA .....   | 72 |
| FIGURA 31 - RESULTADOS DA DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS .....  | 72 |
| FIGURA 32 - RESULTADOS DO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS .....  | 73 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 33 - ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DE CADA REAGENTE NO IMPACTE TOTAL DOS REAGENTES .....    | 74 |
| FIGURA 34 - RESULTADOS DOS SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS .....                                    | 75 |
| FIGURA 35 - CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DE CADA ELEMENTO NO IMPACTE TOTAL DO SISTEMA EM 2015 ..... | 76 |
| FIGURA 36 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ECOEFICIÊNCIA NAS CATEGORIAS DE AC E DCF .....              | 77 |
| FIGURA 37 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ECOEFICIÊNCIA NAS CATEGORIAS DE EM, DM, ETAD E ETM.....     | 78 |
| FIGURA 38 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DA ECOEFICIÊNCIA NAS CATEGORIAS DE EAD, FMP E DA.....          | 78 |
| FIGURA 39 - RESULTADOS ACV DO SISTEMA TOTAL COM CONTRIBUIÇÃO DE CADA ETAR EM 2006 .....      | 79 |
| FIGURA 40 - RESULTADOS ACV DO SISTEMA TOTAL COM CONTRIBUIÇÃO DE CADA ETAR EM 2010 .....      | 80 |
| FIGURA 41 - CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DE CADA ELEMENTO NO IMPACTE TOTAL DO SISTEMA EM 2010 ..... | 80 |
| FIGURA 42 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA AC E DCF NO IMPACTE TOTAL .....                             | 81 |
| FIGURA 43 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DA AC E DCF NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....                       | 82 |
| FIGURA 44 - EVOLUÇÃO TEMPORAL DA AT, FOF E RI NA CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA.....          | 82 |
| FIGURA 45 - COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS DE MELHORIA DA ECOEFICIÊNCIA.....                        | 86 |



## Índice de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| TABELA 1 - PERSPETIVAS ABORDADAS NO MÉTODO ECO-INDICATOR 99 (PRÉ, 2015).....                  | 16 |
| TABELA 2 - PESOS DA ETAPA DE PONDERAÇÃO PELO MÉTODO ECO-INDICATOR 99 (PRÉ, 2015) .....        | 17 |
| TABELA 3 - CATEGORIAS DE IMPACTE A NÍVEL <i>MIDPOINT</i> E <i>ENDPOINT</i> (PRÉ, 2015).....   | 18 |
| TABELA 4 - EXEMPLO DE ALGUNS INDICADORES ECONÓMICOS (BAPTISTA <i>ET AL.</i> , 2014) .....     | 19 |
| TABELA 5 - RESUMO DE ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O CICLO URBANO DA ÁGUA .....                    | 20 |
| TABELA 6 - DADOS DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO SISTEMA EM ALTA (ERSAR, 2015A).....   | 27 |
| TABELA 7 - DADOS DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO SISTEMA EM BAIXA (ERSAR, 2015A) ..... | 27 |
| TABELA 8 - DADOS DO SERVIÇO DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS EM ALTA (ERSAR, 2015A) .....       | 28 |
| TABELA 9 - DADOS DO SERVIÇO DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS EM BAIXA (ERSAR, 2015A) .....      | 28 |
| TABELA 10 - FASES DO PROCESSO NA ETA DE LEVER (ÁGUAS DO DOURO E PAIVA S.A., 2005) .....       | 30 |
| TABELA 11 - EVOLUÇÃO DA ÁGUA CONSUMIDA POR TIPO DE CLIENTE (ÁGUAS DO PORTO E.M., 2015) .....  | 33 |
| TABELA 12 - FASES DA LINHA LÍQUIDA NA ETAR DE SOBREIRAS (CARVALHO, 2010) .....                | 36 |
| TABELA 13 - FASES DA LINHA DE LAMAS NA ETAR DE SOBREIRAS (CARVALHO, 2010) .....               | 36 |
| TABELA 14 - FASES DA LINHA DE DESODORIZAÇÃO NA ETAR DE SOBREIRAS (CARVALHO, 2010) .....       | 36 |
| TABELA 15 - FASES DA LINHA DE LAMAS NA ETAR DO FREIXO (CARMO, 2013) .....                     | 37 |
| TABELA 16 - FASES DA LINHA DE DESODORIZAÇÃO NA ETAR DO FREIXO (CARMO, 2013) .....             | 37 |
| TABELA 17 - ETAPAS INCLUÍDAS NAS ATIVIDADES DE <i>BACKGROUND</i> E <i>FOREGROUND</i> .....    | 43 |
| TABELA 18 – DADOS RELATIVOS À DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS .....        | 43 |
| TABELA 19 – INVENTÁRIO CONSIDERADO EM DE CADA ETAPA.....                                      | 44 |
| TABELA 20 - DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO.....   | 45 |
| TABELA 21 - ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAPA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA .....              | 46 |
| TABELA 22 – SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUA.....                 | 46 |
| TABELA 23 - CONDUTAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXECUTADAS EM 2015.....                         | 47 |
| TABELA 24 - CONSUMO ELÉTRICO ANUAL EM MÉDIA TENSÃO PELAS CENTRAIS EM 2015 (kWh).....          | 47 |
| TABELA 25 - ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAPA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA .....                          | 48 |
| TABELA 26 - SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA .....                            | 48 |
| TABELA 27 - FORNECEDOR E DISTÂNCIA À EMPRESA, PARA CADA TIPO DE TUBAGEM.....                  | 49 |
| TABELA 28 - CONDUTAS DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS EXECUTADAS EM 2015 .....                   | 49 |
| TABELA 29 – ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAPA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS.....                 | 50 |
| TABELA 30 – SAÍDAS DE RECURSOS NA ETAPA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS .....                  | 50 |
| TABELA 31 - FORNECEDOR E DISTÂNCIA À EMPRESA, PARA CADA TIPO DE TUBAGEM.....                  | 51 |
| TABELA 32 - ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAR DE SOBREIRAS.....                                    | 52 |
| TABELA 33 - TRANSPORTE DOS REAGENTES DESDE OS FORNECEDORES ATÉ À ETAR DE SOBREIRAS.....       | 53 |
| TABELA 34 - ÁGUA RESIDUAL TRATADA E EMISSÕES PARA A ÁGUA NA ETAR DE SOBREIRAS .....           | 53 |

|   |    |
|---|----|
| TABELA 35 - GRADADOS, AREIAS E LAMAS GERADOS NA ETAR DE SOBREIRAS NO ANO DE 2015.....   | 54 |
| TABELA 36 - TRANSPORTE DOS RESÍDUOS DA ETAR DE SOBREIRAS.....                           | 54 |
| TABELA 37 - ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAR DO FREIXO .....                                | 55 |
| TABELA 38 - TRANSPORTE DOS REAGENTES ATÉ À ETAR DO FREIXO .....                         | 55 |
| TABELA 39 - ÁGUA RESIDUAL TRATADA E EMISSÕES PARA A ÁGUA NA ETAR DO FREIXO.....         | 56 |
| TABELA 40 - EMISSÕES PARA O AR DAS CALDEIRAS QUE UTILIZAM BIOGÁS NA ETAR DO FREIXO..... | 56 |
| TABELA 41 - GRADADOS, AREIAS E LAMAS GERADOS NA ETAR DO FREIXO NO ANO DE 2015 .....     | 57 |
| TABELA 42 - TRANSPORTE DOS RESÍDUOS GERADOS PELAS ENTIDADES COMPETENTES.....            | 57 |
| TABELA 43 - ENTRADAS DE RECURSOS NA ETAPA DE SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS.....              | 57 |
| TABELA 44 - EMISSÕES PARA O AR RESULTANTES DA COMBUSTÃO DE DIESEL PELOS VEÍCULOS .....  | 58 |
| TABELA 45 - CATEGORIAS DE IMPACTE CONSIDERADAS .....                                    | 59 |
| TABELA 46 - RESULTADOS DE ACV DO SISTEMA PRODUTIVO COMPLETO.....                        | 61 |
| TABELA 47 - VOLUME DE NEGÓCIOS DA ÁGUAS DO PORTO E.M. EM 2015 .....                     | 63 |
| TABELA 48 - RESULTADOS DE ECOEFICIÊNCIA DO SISTEMA PRODUTIVO COMPLETO .....             | 65 |
| TABELA 49 - PERCENTAGEM RELATIVA DA CONTRIBUIÇÃO DE CADA ETAPA NO IMPACTE TOTAL .....   | 69 |
| TABELA 50 - CONSUMO ELÉTRICO DE CADA ESTUDO EM CADA ETAPA EM KWH/UF.....                | 70 |
| TABELA 51 - INFORMAÇÕES RELATIVAS A CARROS ELÉTRICOS .....                              | 83 |
| TABELA 52 - INFORMAÇÃO RELATIVA AOS PAINÉIS SOLARES EM CADA INSTALAÇÃO.....             | 84 |
| TABELA 53 - INFORMAÇÃO DO MOTOR DE COMBUSTÃO .....                                      | 85 |

## **Símbolos, Acrónimos e Abreviaturas**

3 P – Pollution Prevention Pays

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

EEA – Agência Europeia do Ambiente

ELCD – European Reference Life Cycle Database

ENDS – Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável

EMAS – Eco-Management and Audit Scheme

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EVAT – Economic Value chain Analysis Tool

GWP – Global Warming Potencial

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

mPt – Mili-Points

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

Pt – Eco-Indicator Points

SEAT – Systemic Environmental Analysis Tool

UF – Unidade Funcional

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UNEP – United Nations Environmental Programme

WBSCD – World Business Council for Sustainable Development

WRAP – Waste Reduction Always Pays

ZMC – Zonas de Medição e Controlo

AC – Alterações Climáticas  
AP – Acidificação Potencial  
AT – Acidificação Terrestre  
DAD – Depleção de Água Doce  
DCO - Depleção da Camada de Ozono  
DCF – Depleção de Combustíveis Fósseis  
DRA – Depleção de Recursos Abióticos  
DRM – Depleção de Recursos Minerais  
EAD – Eutrofização de Água Doce  
EC – Efeitos Carcinogénicos  
EM – Eutrofização Marinha  
EMI – Extração de Minerais  
EP – Eutrofização Potencial  
ERSO – Efeitos Respiratórios causados por Substâncias Orgânicas  
ERSI – Efeitos Respiratórios causados por Substâncias Inorgânicas  
ET – Ecotoxicidade Terrestre  
ETAD – Ecotoxicidade em Água Doce  
ETM – Ecotoxicidade Marinha  
ETP – Ecotoxicidade Potencial  
FMP – Formação de Material Particulado  
FOF – Formação de Oxidantes Fotoquímicos  
NAE – Necessidade Acumulada de Energia  
PDO – Potencial de Depleção de Ozono  
RI – Radiação Ionizante  
TH – Toxicidade Humana  
UAD – Uso de Água Doce

CaO – Cal Viva  
NaClO – Hipoclorito de Sódio  
NaOH – Hidróxido de Sódio

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

FFD – Ferro Fundido Dúctil

PVC – Policloreto de Polivinila

CO – Monóxido de Carbono

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

COVNM – Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos

CH<sub>4</sub> – Metano

HCl – Ácido Clorídrico

N – Azoto

NO<sub>x</sub> – Óxidos de Azoto

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso

O<sub>3</sub> - Ozono

P – Fósforo

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – Pentóxido Difosfórico

SO<sub>x</sub> – Óxidos de Enxofre

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

SST – Sólidos Suspensos Totais

GWh – Gigawatt-hora

Kg – Quilograma

Km – Quilómetro

kWh – Quilowatt-hora

L – Litro

mg – Miligrama

m<sup>3</sup> – Metro cúbico

tkm – Tonelada-quilómetro

t – Tonelada

€ – Euro



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Os avanços tecnológicos que surgiram após a revolução industrial, a crescente urbanização e industrialização conduziram a um maior impacto no ambiente por ação antropogénica. O uso intensivo de combustíveis fósseis no século XX levou à exploração irresponsável dos recursos naturais, evidenciando a existência de uma fraca consciencialização ambiental e originando várias consequências negativas no ambiente e na saúde humana. Face aos problemas que surgiram, tem-se verificado nos últimos anos uma maior preocupação com a componente ambiental, de forma a conciliar o desenvolvimento da sociedade com a preservação dos recursos naturais.

Em 1987 surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, através da publicação do documento “*Our Common Future*”, que corresponde ao “desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (HLPGS, 2010). Este conceito engloba 3 pilares, nomeadamente o ambiente, a sociedade e a economia.

Em 1991 surgiu o conceito de ecoeficiência, introduzido pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), consistindo na criação de mais valor económico com menos recursos e menos impacto no ambiente, sendo que no seu cálculo são utilizados indicadores ambientais e económicos (BCSD Portugal, 2013). Mais recentemente, com a publicação da norma ISO 14045:2012, a componente ambiental é avaliada segundo a aplicação de uma Avaliação do Ciclo de Vida. Quando aplicado num contexto empresarial, a Avaliação da Ecoeficiência permite identificar os pontos críticos onde é possível implementar medidas que permitam, por um lado, diminuir os impactos ambientais, através da redução do consumo de matérias-primas e consumos energéticos, bem como aumentar a componente económica, por exemplo, os lucros ou a quantidade de produtos vendidos.

As organizações têm promovido o controlo dos impactos das suas atividades, em parte devido à legislação mais restritiva e pelo facto do ambiente ser agora visto como uma oportunidade de se destacar dos demais. O EMAS (*Eco-Management and Audit Scheme*) e a norma ISO 14001 são dois instrumentos de gestão ambiental passíveis de serem utilizados pelas organizações, de forma a melhorar o seu desempenho ambiental e comunicar os resultados à sociedade. O mesmo acontece com os relatórios de sustentabilidade, onde são compilados dados relativos ao desempenho da organização. Nesse sentido, é evidenciada a utilidade prática da Avaliação da Ecoeficiência, visto ser um estudo que pode ser apresentado neste tipo de documentos.

A nível de ciclo urbano da água, já existem vários estudos de Avaliação do Ciclo de Vida, mas muito poucos relativos a Avaliação da Ecoeficiência. Neste sentido, a realização deste tipo de estudo apresenta-se como uma oportunidade de conjugar a componente ambiental com a componente económica.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação consistiu na realização de uma Avaliação da Ecoeficiência, através de uma perspetiva de Avaliação do Ciclo de Vida e seguindo as orientações definidas na norma ISO 14045:2012.

Nesta Avaliação da Ecoeficiência pretendeu-se avaliar o sistema de gestão do ciclo urbano da água da cidade do Porto, gerido pela Águas do Porto E.M. Desta forma, pretende-se estudar todas as etapas desde a captação da água até à sua devolução ao Rio Douro. Para isso, decidiu-se incluir a Captação e Tratamento de Água, realizados pela Águas do Norte S.A. As restantes etapas, geridas pela Águas do Porto E.M., consistem na Distribuição de Água, Drenagem de Águas Residuais, Tratamento das Águas Residuais nas ETAR e por fim, os Serviços Administrativos, relativos à sede da empresa e à sua frota de veículos.

De forma a proceder à Avaliação da Ecoeficiência, foram consultados diversos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida já realizados, de forma a compreender o tipo de inventário necessário recolher, bem como analisar as principais conclusões. Foram analisadas as várias metodologias e *softwares* existentes, que auxiliam a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida. Relativamente à componente económica, foram apresentados alguns exemplos de indicadores económicos passíveis de serem utilizados no cálculo da ecoeficiência.

Desta forma, pretendia-se também identificar quais as etapas que apresentam maior contribuição para o impacto total do sistema em cada categoria de impacto ambiental analisada, bem como os principais componentes que contribuem para esses impactos. Posteriormente, foram avaliados cenários de melhoria de ecoeficiência, para comparar o seu benefício e identificar as melhores opções.

Para tornar a análise o mais completa e exaustiva possível, foi realizado um histórico da evolução da ecoeficiência e dos resultados da Avaliação do Ciclo de Vida, desde 2006 até 2015, de forma a analisar a sua evolução e comparar os resultados em cada ano.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma:

**Capítulo 1 – Introdução:** É realizada uma apresentação sumária do tema, sendo apresentados os objetivos e a estrutura da dissertação.

**Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos:** É realçada a interação existente entre o homem e o meio ambiente. São abordados os conceitos de desenvolvimento sustentável, ecoeficiência e Avaliação do Ciclo de Vida. Referem-se as metodologias existentes para determinar a componente ambiental da ecoeficiência, os *softwares* disponíveis e alguns indicadores económicos. Por fim, é apresentado um conjunto de estudos já realizados sobre o tema.



**Capítulo 3 – Caracterização do Caso de Estudo:** Neste capítulo é apresentada alguma informação quantitativa do setor da água em Portugal. É explicado de forma detalhada todo o ciclo urbano da água da cidade do Porto, assim como a atividade da Águas do Porto, E.M.

**Capítulo 4 – Avaliação da Ecoeficiência:** São seguidos todos os passos necessários para realizar a Avaliação do Ciclo de Vida, sendo apresentado e justificado o inventário, a avaliação de impacto e os resultados obtidos. Por fim é apresentado o indicador económico adotado e calculada a ecoeficiência, para o ano de 2015.

**Capítulo 5 – Discussão de resultados:** Neste capítulo são analisados os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida, a nível do sistema e cada etapa individualmente. De seguida é analisada a evolução da ecoeficiência ao longo dos anos, de forma a verificar se ocorreram melhorias.

**Capítulo 6 – Medidas a implementar para melhoria da ecoeficiência:** São analisadas e comparadas algumas medidas que permitem melhorar o desempenho da empresa, comparativamente à situação atual.

**Capítulo 7 – Conclusões e Perspetivas Futuras:** Apresentam-se as principais conclusões da dissertação, bem como as dificuldades sentidas no decorrer do trabalho. É apresentada uma lista com sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, é apresentada a bibliografia consultada durante a realização da dissertação, bem como 12 anexos.



## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 A humanidade e o ambiente

Todo o tipo de atividades económicas e sociais exige o uso de recursos naturais, principalmente água e combustíveis fósseis. Porém, nem sempre houve preocupação em conciliar o desenvolvimento da sociedade com a preservação destes recursos naturais, nem com as consequências da sua utilização. O uso intensivo de combustíveis fósseis no século XX originou várias consequências negativas, como por exemplo um acréscimo da poluição atmosférica, originando dilemas a nível social e económico. A maioria das necessidades energéticas mundiais ainda é suprida pelo uso de recursos não renováveis, pelo que se o padrão de consumo atual se mantiver, as reservas tornar-se-ão inevitavelmente escassas e consequentemente os preços aumentarão.

Além do risco de escassez dos recursos, a sua utilização é responsável pela emissão de gases que promovem o efeito de estufa, como por exemplo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>), provocando o aumento da temperatura do planeta. Por sua vez, este aumento de temperatura leva à subida do nível médio do mar, mudança dos padrões de precipitação e aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos. Outras consequências resultantes da emissão de gases para a atmosfera são a formação de chuvas ácidas e nevoeiro fotoquímico (Borrego *et al.*, 2009).

Face a estes problemas, é necessária uma mudança de atitude, promovendo o uso de energias renováveis e de biocombustíveis, minimizando assim as consequências negativas resultantes da ação antropogénica.

A água é um bem essencial na produção de bens e serviços, tais como alimentos e energia. O crescimento da população, a urbanização, as políticas de segurança alimentar e energética e os processos macroeconómicos, têm contribuído para o seu crescente consumo. Porém, diversos fatores ameaçam a disponibilidade de água no meio ambiente, tais como a crescente poluição e as alterações climáticas, o que coloca em perigo a população (Richard & Engin, 2015). Segundo o relatório “*Water for a Sustainable World*” da UNESCO, de 2015, estima-se que, em 2050, ocorra um crescimento de 55% na procura de água, devido principalmente ao aumento do uso de água na manufatura, produção de eletricidade em centrais térmicas e uso doméstico (WWAP, 2015).

A temática da água potável e do saneamento tornaram-se mais relevantes devido à crescente urbanização que se verificou na segunda metade do século XX, assim como os consequentes problemas de saúde (Félício & Carlos, 2014). O abastecimento de água é essencial para a saúde pública e dignidade social, assim como para a produtividade económica. É fundamental intervir nas questões relacionadas com os recursos hídricos, de forma a melhorar os serviços de abastecimento de água e saneamento, proporcionando uma melhor saúde pública, reduzindo os potenciais custos associados com a saúde e aumentando a produtividade. Por outro lado, ao promover o uso das melhores tecnologias disponíveis e sistemas de gestão para o abastecimento de água, é possível obter maior produção e maior eficiência, conciliando também a proteção do ambiente (Richard & Engin, 2015).

As cidades afetam o ciclo hidrológico de várias maneiras, pela extração de grandes quantidades de água superficiais e subterrâneas, impermeabilizando o solo (impedindo a infiltração e recarga de aquíferos) e poluindo as águas através da descarga de águas residuais não tratadas (WWAP, 2015).

Verifica-se ainda que em várias cidades dos países em desenvolvimento, não existem infraestruturas para a recolha e tratamento das águas residuais. Estima-se que 90% das águas residuais dos países em desenvolvimento sejam enviadas, sem tratamento, diretamente para os rios, lagos ou oceanos, provocando danos no ambiente e riscos para a saúde. Assim, a gestão das águas residuais também é um tema importante, uma vez se esta não for realizada corretamente, pode levar à contaminação dos ecossistemas, implicando custos sociais e económicos (WWAP, 2015).

## 2.2 Desenvolvimento Sustentável

Em 1972, realizou-se em Estocolmo a Conferência sobre o Ambiente Humano das Nações Unidas, sendo a primeira reunião mundial durante a qual se discutiu a sustentabilidade a uma escala global. Esta conferência conduziu à criação do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e de diversas agências ambientais a nível nacional (HLPGS, 2010).

O termo desenvolvimento sustentável foi popularizado em “*Our Common Future*”, também conhecido por relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1987. A definição clássica de desenvolvimento sustentável, apresentada neste relatório, é: “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (HLPGS, 2010). O relatório salienta ainda a necessidade de alterar os padrões de produção e consumo, alterando o rumo na direção da sustentabilidade.

O desenvolvimento sustentável engloba 3 pilares: ambiente, sociedade e economia, sendo necessário existir um equilíbrio entre eles. Uma conhecida representação é a apresentada na Figura 1, denominada “*triple botom line*” (BCSD Portugal, 2013).



Figura 1 - Desenvolvimento sustentável (Castanheira & Gouveia, 2004)

Outro evento importante aconteceu em 1992, no Rio de Janeiro, designado Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, também conhecido por Rio-92. Foi aprovada a Declaração sobre o Meio Ambiente, que contém 27 princípios para guiar os países nas suas políticas de desenvolvimento sustentável. Também foi aprovada a Agenda 21, um documento com 40 capítulos, onde são definidas ações relativamente às dimensões económicas e sociais do desenvolvimento sustentável, conservação e gestão dos recursos naturais, o papel dos principais grupos e meios de implementação. Por fim, foi aprovada a Carta da Terra e as convenções da biodiversidade, desertificação e mudanças climáticas (HLPGS, 2010).

Em 1997, assinou-se o Protocolo de Quioto, com o objetivo de limitar as emissões de gases com efeito de estufa. Em 2002, aconteceu em Joanesburgo, na África do Sul, a Cimeira Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, também designada por Rio+10 (HLPGS, 2010).

Mais recentemente, em 2012, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, Rio+20, onde foi adotado o documento “*The Future We Want*”, onde são referidas as medidas e orientações para implementar o desenvolvimento sustentável, sendo que existe um capítulo dedicado à água e saneamento (Félicio & Carlos, 2014).

Relativamente a Portugal, em 2002, foi apresentada a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS), na sequência dos compromissos assumidos no âmbito da Agenda 21. Posteriormente, em 2004, foi aprovada uma nova ENDS, relativamente ao período 2005-2015, tendo sido integrados os três pilares do Desenvolvimento Sustentável: social, económico e ambiental (Projecto Improve Center, 2012).

## 2.3 Desenvolvimento Sustentável no contexto empresarial

Atualmente, o desempenho ambiental tem assumido um papel importante nos eixos estratégicos das organizações, que cada vez mais promovem o controlo dos impactos das suas atividades, de forma a cumprir determinados objetivos ambientais. A legislação, cada vez mais restritiva, representa também um fator importante, conduzindo à crescente preocupação com as questões ambientais e com o desenvolvimento sustentável (ISO, 2012a).

As organizações aperceberam-se que a redução do impacto ambiental das suas atividades traz vantagens. O que antes era visto como um custo, é agora visto como uma oportunidade de se destacar dos demais, apostando fortemente na gestão ambiental (ISO, 2012a).

O Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS – *Eco-Management and Audit Scheme*) e a norma ISO 14001, podem ser utilizados pelas organizações como instrumentos de gestão ambiental. A ISO 14001 é uma norma de certificação ambiental que fornece o modelo para implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (ISO, 2012a). O EMAS é um instrumento que pode ser utilizado por qualquer organização que pretenda melhorar o seu desempenho ambiental e comunicar os resultados à sociedade (AEP - Associação Empresarial de Portugal, 2013).

Os relatórios de sustentabilidade são também uma ferramenta muito utilizada atualmente. Segundo a *Global Reporting Initiative*, um relatório de sustentabilidade consiste na compilação de dados relativos ao desempenho de uma organização, de modo a serem posteriormente divulgados, sendo incluídas as contribuições positivas e negativas, para que possa ser possível realizar um processo de melhoria contínua (Global Reporting Initiative, 2007). Desta forma, uma Avaliação de Ecoeficiência é um estudo que pode ser integrado neste tipo de relatórios.

## 2.4 Ecoeficiência

Um conceito cada vez mais conhecido e aplicado pelas organizações é o deecoinovação, que consiste em aplicar ideias inovadoras que originem benefícios económicos, que reduzam o impacto ambiental e otimizem o uso de recursos, estando relacionado com o conceito de ecoeficiência (Comissão Europeia, 2014).

Foi em 1991 que surgiu o conceito de ecoeficiência, tendo sido introduzido pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). O termo conjuga o desempenho ambiental com o económico, consistindo, na prática, na criação de mais valor económico com menos recursos e menos impacto no ambiente (BCSD Portugal, 2013).

Existem outras definições de ecoeficiência por outras entidades, tais como (BCSD Portugal, 2013):

- “a eficiência com a qual os recursos ecológicos são utilizados a serviço das necessidades humanas” - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE);
- “conceito e estratégia que permite desvincular o suficiente o “uso da natureza” da atividade económica necessária para satisfazer as necessidades humanas (bem-estar), permitindo que permaneça dentro das capacidades produtivas e para permitir o acesso equitativo e uso do ambiente pelas gerações atuais e futuras” - Agência Europeia do Ambiente (EEA).

Em 1992, foi publicado o livro “*Changing Course*”, com o objetivo de promover uma análise numa perspetiva mais ambiental dos processos industriais, vendo-os como uma solução para o desenvolvimento sustentável. Assim, o conceito de ecoeficiência foi lançado a uma escala mundial. O livro define que as empresas ecoeficientes são as que fornecem melhores produtos e serviços, reduzindo ao mesmo tempo os recursos necessários e a poluição gerada (WBCSD, 2000a).

Realizou-se o primeiro workshop sobre ecoeficiência, em 1993, onde foi apresentada a seguinte definição (WBCSD, 2000a):

“A ecoeficiência atinge-se através da oferta de bens e serviços a preços competitivos, que, por um lado, satisfaçam as necessidades humanas e contribuam para a qualidade de vida e, por outro, reduzam progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de utilização de recursos ao longo do ciclo de vida, até atingirem um nível, que, pelo menos, respeite a capacidade de sustentação estimada para o planeta Terra”.

Na realidade, a noção de que era possível conciliar a prevenção da poluição e benefícios financeiros já existia há alguns anos, sendo de realçar o programa “*Pollution Prevention Pays – 3 P’s*”, pelo fabricante de bens, 3M, assim como o programa “*Waste Reduction Always Pays – WRAP*” pela Dow Chemicals. O termo ecoeficiência já tinha sido utilizado pela primeira vez em 1990, por Schaltegger e Sturm, dois investigadores na cidade de Basileia (WBCSD, 2000a).

A ecoeficiência reúne o progresso económico e ecológico, porém, por si só não é suficiente para o desenvolvimento sustentável, uma vez que engloba apenas dois dos três pilares, ficando a faltar o progresso social. Assim, só será possível atingir a sustentabilidade se houver um trabalho conjunto e partilha de responsabilidades, por parte das várias entidades, tais como os governos, empresas e clientes (WBCSD, 2000a).

O WBCSD define três objetivos para a ecoeficiência (WBCSD, 2000a):

1. Reduzir o consumo de recursos, promovendo a reciclagem e aumento do tempo de vida útil dos produtos;

2. Reduzir o impacto sobre a natureza e utilizando energias renováveis;
3. Fornecer produtos e serviços de maior qualidade.

A implementação da ecoeficiência consiste em procurar oportunidades, que podem ser encontradas através de (WBCSD, 2000a):

1. Reengenharia dos processos, de forma a consumir menos recursos e evitar poluição, aliado à redução de custos;
2. Revalorização dos sub-produtos, procurando sinergias com outras empresas, para que os resíduos de uns sejam as matérias-primas de outros;
3. Reconcepção dos produtos, através do *ecodesign*, ou seja, minimizando o uso de recursos não renováveis e minimizando os impactos ambientais;
4. Nova visão dos mercados, procurando novas formas para remodelar a procura e oferta.

O WBCSD definiu uma metodologia de cálculo da ecoeficiência, recorrendo a indicadores ambientais, considerando que existem indicadores gerais, passíveis de serem utilizados em qualquer organização, assim como indicadores específicos de um determinado setor. Relativamente aos indicadores gerais, os indicadores do valor do serviço ou produto passam pela quantidade produzida e vendas realizadas, enquanto que os indicadores ambientais são o consumo de energia, água, e materiais, assim como emissões de gases com efeito de estufa e substâncias que afetem a camada de ozono (WBCSD, 2000b).

Uma vez que a ecoeficiência relaciona a parte económica e ambiental, é possível conjugar as duas numa equação matemática (WBCSD, 2000b):

$$\text{Ecoeficiência} = \frac{\text{Valor do produto ou serviço}}{\text{Influência ambiental}} \quad (1)$$

Assim, facilmente se depreende que ao melhorar a qualidade do produto ou serviço, o numerador irá aumentar, aumentando a ecoeficiência. Por sua vez, usar menos recursos e minimizar impactos no ambiente também fará aumentar a ecoeficiência (WBCSD, 2000b).

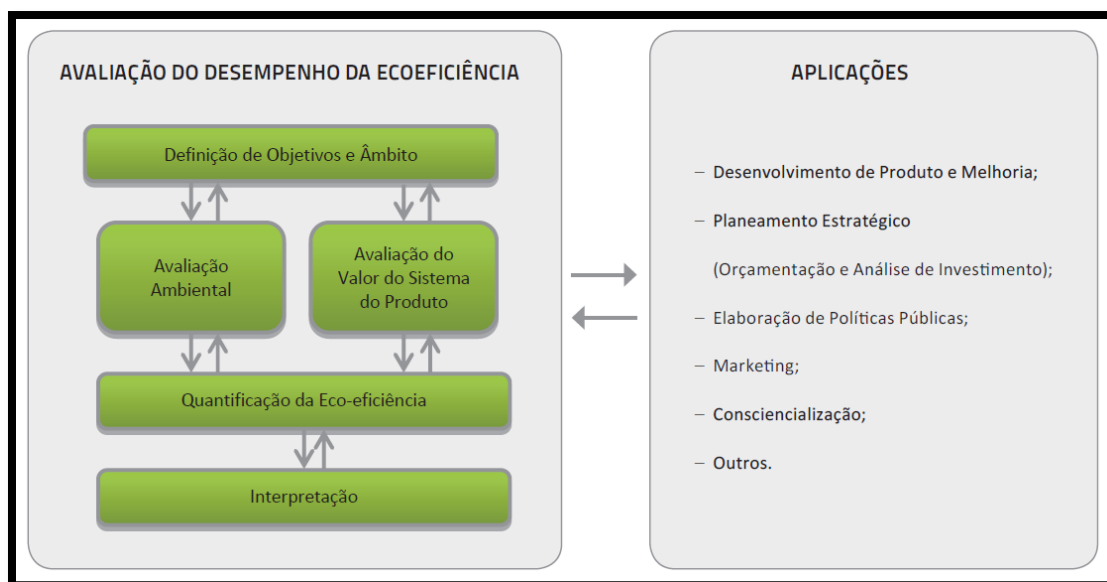
Também é possível aplicar a fórmula inversa da apresentada, ou seja, calcular a ecoeficiência dividindo a influência ambiental pelo valor do produto ou serviço. Assim, os resultados são mais fáceis de interpretar, visto que quanto mais próximo de zero for o resultado, maior a ecoeficiência.

Com a publicação da norma ISO 14045:2012 (Gestão Ambiental – Avaliação da ecoeficiência de sistemas produtivos: Princípios, requisitos e orientações), foi apresentado um método alternativo de cálculo da ecoeficiência, passando a utilizar como indicadores ambientais as categorias de impacto ambiental, calculadas através da aplicação de uma Avaliação de Ciclo de Vida.

A mesma norma considera que uma Avaliação da Ecoeficiência consiste numa ferramenta que permite estudar os impactos ambientais referentes a um determinado sistema produtivo, bem como o valor desse mesmo sistema produtivo, em conjunto com os *stakeholders* envolvidos. Os impactos ambientais são avaliados aplicando uma Avaliação do Ciclo de Vida, de acordo com as normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. Desta forma, a Avaliação da Ecoeficiência e a Avaliação de Ciclo de Vida têm princípios em comum, nomeadamente, uma perspetiva de ciclo de vida, escolha de unidade funcional, natureza iterativa, transparência e a prioridade de uma abordagem científica (ISO, 2012b).

Esta norma também indica que o valor do sistema produtivo deve refletir a eficiência do uso dos recursos, a produção, a distribuição ou uso, ou uma combinação destes (ISO, 2012b).

Na Figura 2 encontram-se esquematizadas as etapas a seguir na realização de uma Avaliação da Ecoeficiência, englobando assim a componentes ambiental e económica (Lourenço, 2013).



**Figura 2 - Etapas da Avaliação da Ecoeficiência (Lourenço, 2013)**

A Avaliação da Ecoeficiência pode ser realizada em 3 escalas, nomeadamente, micro, meso e macro escala. A micro escala é relativa a um produto ou serviço, a macro escala é relativa a uma escala a nível de economia nacional e a meso escala é um intermédio. A meso escala reveste-se de particular interesse uma vez que permite verificar se uma solução ecoeficiente para um determinado produto a uma micro escala, poderá não ser a melhor solução se for analisado todo o processo produtivo (EcoWater, 2012a).

A empresa química alemã BASF é um exemplo de uma empresa que já realiza há vários anos análises de ecoeficiência, tendo desenvolvido, em 1996, o “*BASF Eco-Efficiency Analysis Method*”, um método onde avalia a ecoeficiência de vários produtos, tendo em conta todo o seu ciclo de vida, de forma a poder comparar o seu desempenho e decidir quais as melhores opções, do ponto de vista ambiental e económico. Além disso, criou um rótulo de forma a identificar os produtos que foram sujeitos a uma análise de ecoeficiência, estando representado na Figura 3 (BASF, 2004).



**Figura 3 - Rótulo dos produtos sujeitos a uma Avaliação da Ecoeficiência (BASF, 2004)**

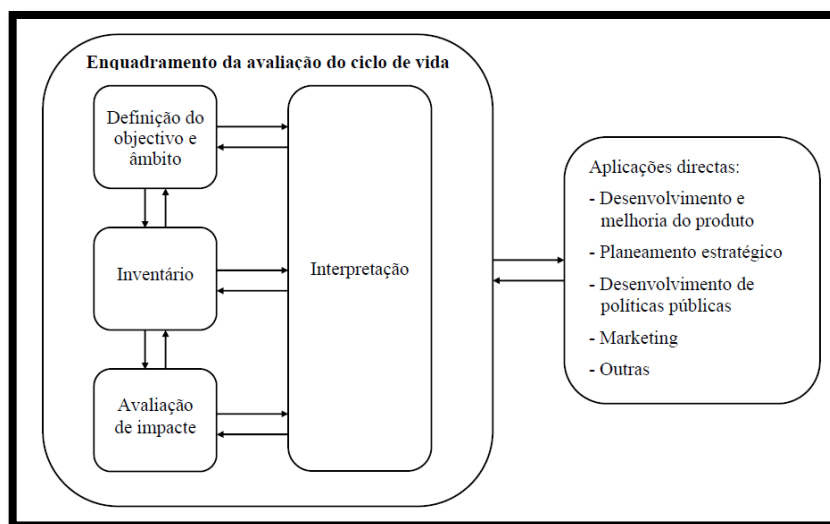


### 2.4.1 Componente Ambiental – Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida é apresentada na ISO 14040:2006, que define os princípios e enquadramento e a norma ISO 14044:2006 que define os requisitos e linhas de orientação.

Uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o impacto ambiental de um produto ou serviço, desde a extração das matérias-primas até ao seu destino final. A base de uma ACV consiste em realizar balanços de massa e energia ao longo do sistema, documentando todos os *inputs* (recursos usados) e *outputs* (resíduos, emissões) em cada etapa. Os materiais analisados incluem, por exemplo, água, resíduos, óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (EcoWater, 2012a).

Tal como se observa na Figura 4, a Avaliação de Ciclo de Vida é composta por quatro etapas, nomeadamente a Definição do Objetivo e do Âmbito, Inventário, Avaliação de Impacte e Interpretação (ISO, 2008).



**Figura 4 - Fases da Avaliação de Ciclo de Vida (imagem adaptada de ISO 14040:2006)**

**Etapa 1 - Definição do Objetivo e Âmbito:** O objetivo deve indicar a aplicação pretendida, as razões para a elaboração da Avaliação de Ciclo de Vida, o público-alvo e se os resultados são utilizados para comparação e divulgação pública. Relativamente ao âmbito, este deve incluir a definição do sistema a estudar, as suas funções, a unidade funcional, as fronteiras do sistema, a metodologia utilizada e as categorias de impacto selecionadas, pressupostos, limitações e outros parâmetros. A unidade funcional serve de referência, de modo a permitir a normalização dos dados de entrada e saída. As fronteiras do sistema permitem identificar quais os processos unitários que serão incluídos no sistema, definindo assim a amplitude do estudo, podendo analisar todo o ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até à eliminação, ou seja, numa perspetiva “*cradle-to-grave*”, ou apenas parte desta, como por exemplo, “*cradle-to-gate*”, sendo analisado apenas desde a extração da matéria-prima até à saída da fábrica, omitindo assim o uso pelo consumidor e a eliminação (ISO, 2008).

**Etapa 2 - Inventário do Ciclo de Vida (ICV):** Nesta etapa, é realizada a recolha de dados e cálculos, que permitem quantificar as entradas e saídas relevantes. São recolhidos dados relativos a recursos usados, materiais, energia, assim como a produção de resíduos e emissões poluentes geradas. Este

processo é iterativo, uma vez que ao recolher os dados, é possível identificar novos dados necessários ou possíveis limitações, que exijam alterações no procedimento de recolha de dados. Também é possível encontrar aspetos que imponham a revisão do objetivo ou do âmbito do estudo. Os dados selecionados podem ser recolhidos diretamente dos locais associados aos processos unitários, ou caso não seja possível, utilizando estudos prévios efetuados ou bases de dados (ISO, 2008).

Etapa 3 - Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV): De modo a avaliar a significância dos impactes ambientais, procede-se à associação dos dados do inventário a categorias de impacte ambiental e indicadores de categoria. Esta etapa engloba algumas etapas obrigatórias (i) e outras opcionais (ii).

(i) As etapas obrigatórias são (ISO, 2010):

1. Seleção das categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização;
2. Imputação dos resultados do ICV e atribuição a categorias de impacte (classificação);
3. Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria, através de fatores de caracterização e de acordo com a metodologia selecionada (caracterização).

Importa aqui definir 4 termos importantes, nomeadamente (ISO, 2008):

1. Categoria de impacte: classe que representa questões ambientais preocupantes, por exemplo, a depleção de ozono;
2. Indicador da categoria de impacte: representação quantificável de uma categoria de impacte, por exemplo, a concentração do ozono estratosférico;
3. Mecanismo ambiental: conjunto de processos físicos, químicos e biológicos associados a uma determinada categoria de impacte;
4. Fator de caracterização: fator derivado de um modelo de caracterização, que serve para converter os resultados para a mesma unidade do indicador de cada categoria de impacte. Por exemplo, o potencial de depleção de ozono.

Relativamente à etapa de caracterização, calculam-se indicadores que demonstram a contribuição dos fluxos ou substâncias para determinada categoria de impacte ambiental. Isto é realizado, para cada categoria de impacte, pela multiplicação dos valores do inventário pelos fatores de caracterização de cada fluxo ou substância correspondente, sendo que estes fatores variam consoante a metodologia selecionada. Ao somar todas as contribuições, de cada fluxo ou substância “i”, obtém-se então a contribuição total para cada categoria de impacte, ou seja (EcoWater, 2012b):

$$\text{Categoria de Impacte} = \sum_{i=1}^n \text{Fator de caracterização}_i \times \text{Inventário da emissão}_i \quad (2)$$

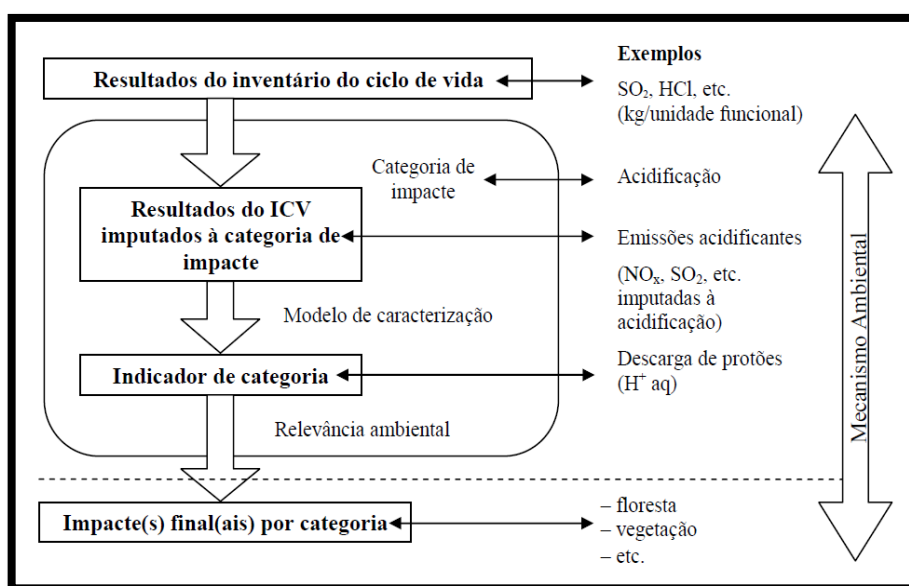
Os fatores de caracterização expressam a contribuição linear de 1 kg de uma substância para o ambiente. Por exemplo, a contribuição de vários gases para o aquecimento global expressa-se em termos de kg CO<sub>2</sub> equivalentes, usando o Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*). Se uma determinada substância tiver um GWP<sub>500</sub> = 100, significa que a emissão de 1 kg desse componente tem o mesmo efeito que a emissão de 100 kg de CO<sub>2</sub> durante, neste caso, 500 anos

(Menoufi, 2011). Aplicando a equação 2 para a categoria de Potencial de Aquecimento Global, seria multiplicado o fator de caracterização 100 kg CO<sub>2</sub> eq pelo inventário da substância analisada.

A caracterização pode ser feita através de duas abordagens, a intermédia (*midpoint*) e a final (*endpoint*). A *midpoint* indica o impacto ambiental, enquanto a *endpoint* indica as áreas de proteção, como por exemplo a saúde humana, ambiente natural e recursos naturais (Bragança & Mateus, 2012).

Na abordagem *midpoint*, existe uma determinada atividade que produz emissões e que causa alterações no ambiente, por exemplo, nas alterações climáticas existe uma alteração na concentração de gases na atmosfera. Assim, os resultados da avaliação de impacto de ciclo de vida evidenciam as contribuições para o aquecimento global ou depleção de ozono estratosférico. Ou seja, esta abordagem preocupa-se com os problemas. Estes problemas ambientais provocam danos nos ecossistemas e na saúde humana, por exemplo, aumentando o cancro da pele. Esta é a abordagem *endpoint*, preocupando-se com as consequências associadas aos problemas (Menoufi, 2011).

A título de exemplo, na norma ISO 14044:2006 é representado um exemplo relativo a emissões que provocam acidificação e posteriormente danificam florestas e vegetação, tal como se pode observar na Figura 5. Ou seja, os resultados da análise de inventário, neste caso dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e ácido clorídrico (HCl), são atribuídos a uma categoria de impacto, a acidificação. Através de fatores de caracterização, são relacionados com o indicador dessa categoria, a descarga de prótons. O impacto final corresponde a danos ao nível de floresta e vegetação (ISO, 2010).



**Figura 5 - Abordagem *midpoint* e *endpoint* (ISO, 2010)**

(ii) As etapas opcionais da avaliação de ciclo de vida consistem na normalização, agregação, ponderação e a análise da qualidade dos dados. A normalização permite calcular indicadores das categorias de impacto em relação a uma referência, permitindo a sua comparação (ISO, 2010).

A agregação consiste em ordenar as categorias de impacto, por exemplo, por características tais como entradas e saídas ou escalas espaciais, assim como hierarquizar essas categorias segundo um dado critério de prioridade (ISO, 2010).

Por fim a ponderação passa por atribuir valores relativos, baseados em escolhas de valor, a cada categoria de impacto, com base na sua importância. Os valores finais obtidos, normalmente são apresentados na forma de *Points* (Pt) ou *mili-points* (mPt). Quanto maior for esse valor, maior o impacto do produto ou serviço (ISO, 2010).

Na Figura 6 é representado um exemplo que demonstra algumas das etapas realizadas na Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida, nomeadamente a classificação, caracterização e ponderação (Dassault Systèmes SolidWorks Corp, 2016).

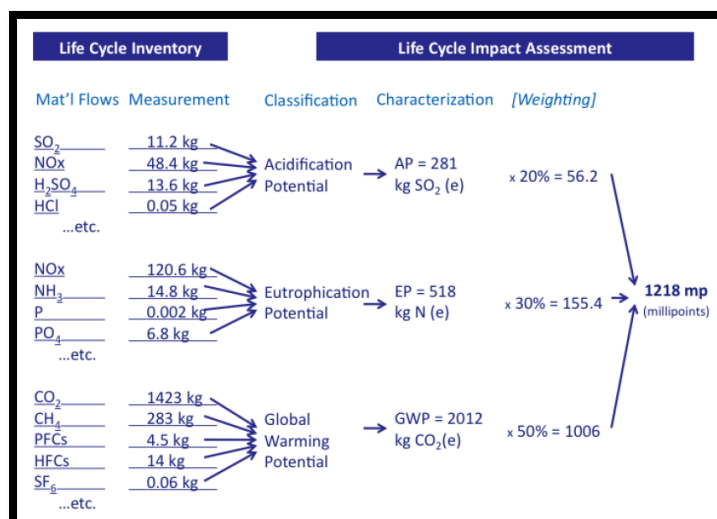


Figura 6 - Exemplo de Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (Prosuíte, 2013)

**Etapa 4 - Interpretação do Ciclo de Vida:** Através desta etapa, procede-se à análise dos resultados das fases de ICV e AICV, elaborando conclusões, mencionando limitações e recomendações futuras (ISO, 2008).

## 2.4.2 Metodologias e Softwares de Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

De forma a avaliar todo o sistema produtivo, devem ser consideradas todas as entradas e saídas ao longo de todo o ciclo de vida, para posteriormente avaliar a sua contribuição para cada categoria de impacto. Assim, é necessário distinguir as atividades *Foreground*, ou seja, diretamente relacionadas com a empresa e cujo inventário pode ser diretamente obtido, das atividades de *Background*, associadas por exemplo à produção e transporte de materiais e energia, cuja informação, caso não possa ser diretamente obtida contactando com as organizações competentes, deve ser obtida a partir de bases de dados.

### 2.4.2.1 Metodologias

Devido à complexidade associada à etapa de avaliação de impacto de ciclo de vida e por ser uma das etapas mais críticas, foram desenvolvidas várias metodologias, que possuem diferentes fatores de caracterização, para classificar os resultados da análise de inventário em categorias de impacto, cada uma com um determinado indicador. Estas metodologias podem ter tanto uma

abordagem *midpoint*, como uma abordagem *endpoint*, ou até uma combinação das duas, tendo sido esta última a mais utilizada pelos métodos mais recentes (Menoufi, 2011).

Existem outras metodologias que abordam um tema em específico, como por exemplo, a pegada ecológica, a necessidade energética cumulativa e as alterações climáticas, sendo esta última avaliada por uma metodologia realizada pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (Menoufi, 2011).

Além do tipo de abordagem, existem outras diferenças entre as várias metodologias, tais como (Menoufi, 2011):

1. O número de categorias de impacto incluídas;
2. O número de substâncias englobadas;
3. Os critérios e modelos necessários para as etapas de caracterização, normalização e ponderação, uma vez que estes variam consoante a localidade/país onde foram criados, assim como se os dados ainda são válidos e atuais.

Existem várias metodologias, com abordagem *midpoint*, *endpoint* ou uma combinação delas, como por exemplo:

1. MidPoint: CML-IA, EDIP 2003, TRACI
2. EndPoint: Eco-Indicator 99, EPS 2000, Eco Scarcity, JEPIX
3. Combinação de MidPoint e EndPoint: ReCiPe 2008, LIME, Impact 2002+, LUCAS

Deste modo, será apresentada de forma resumida a metodologia CML-IA, a Eco-Indicator 99 e a ReCiPe 2008.

#### **2.4.2.1.1 CML-IA**

A metodologia CML-IA é de abordagem *midpoint*, tendo sido desenvolvido pelo *Institute of Environmental Sciences* (CML), na Universidade de Leiden, na Holanda (Menoufi, 2011). Este método agrupa as categorias de impacto em 2 grupos: (i) as categorias obrigatórias, denominadas baseline, que inclui as categorias mais usadas em ACV; (ii) as categorias opcionais, que são menos utilizadas.

Este método estabelece relações entre indicadores *midpoint* e indicadores *endpoint*, identificando áreas de proteção para cada categoria de impacto, porém não as quantifica. As áreas de proteção mencionadas são a saúde humana, recursos naturais (bióticos e abióticos), ambiente natural (qualidade dos ecossistemas e biodiversidade) e o ambiente antrópico. Tal pode ser observado no Anexo 1 (Heijungs *et al.*, 2003).

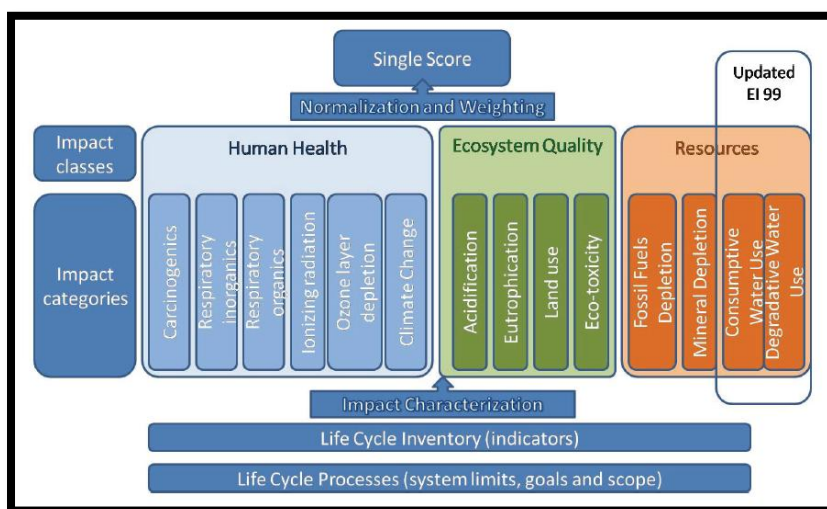
#### **2.4.2.1.2 Eco-Indicator 99**

A metodologia Eco-Indicator 99, veio substituir a sua antecessora Eco-Indicator 95, que foi a primeira com abordagem *endpoint*. Esta permite expressar os impactos ambientais num único valor, designado por Eco-Indicador. Tem uma abordagem “*top down*”, ou seja, foi concebida, tendo como ponto de partida, a necessidade de facilitar a tomada de decisões, pelo que partiu da definição dos danos ambientais e dos seus fatores de ponderação, para só depois estabelecer modelos de danos que os

relacionam com os resultados de inventário. Os fatores de caracterização são calculados ao nível *endpoint*, ou seja, a nível dos danos (Heijungs *et al.*, 2003).

Ao realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida, as emissões e extração de recursos são expressas em mais de 10 categorias de impacto ambiental, pelo que na fase de ponderação é muito difícil atribuir valores de acordo com a sua importância. Esta metodologia mostrou-se inovadora no sentido em que, em vez de atribuir valores a essas categorias, estas são agregadas em 3 áreas de danos, pelo que apenas se procede à normalização e ponderação dessas 3 áreas, nomeadamente os danos à saúde humana, os danos à qualidade dos ecossistemas e os danos nos recursos (PRé, 2015).

Na Figura 7 é possível observar essa agregação em 3 áreas de danos (Comandaru *et al.*, 2012).



**Figura 7 - Metodologia Eco-Indicator 99 (Comandaru *et al.* 2012)**

No Anexo 2 é apresentado com maior detalhe o modelo da metodologia Eco-Indicator 99.

Os modelos de caracterização têm uma incerteza associada, relativas a escolhas subjetivas, como por exemplo a escolha do horizonte de tempo ou a questão de se incluir um determinado efeito mesmo quando não exista provas científicas que esse efeito existe (PRé, 2015).

Isto levou à criação de 3 diferentes versões da metodologia, de acordo com 3 tipos de perspetivas, que são apresentadas na Tabela 1 (PRé, 2015):

**Tabela 1 - Perspetivas abordadas no método Eco-Indicator 99 (PRé, 2015)**

| Perspetiva         | Horizonte Temporal  | Gestão dos problemas  | Nível de evidência necessário   |
|--------------------|---------------------|---|---------------------------------|
| Hierárquica (H)    | Médio a longo prazo | Danos podem ser evitados através de uma boa gestão (controlo)                             | Inclusão baseada em consenso    |
| Igualitária (E)    | Longo prazo         | Danos não podem ser evitados e podem levar a eventos catastróficos (prevenção)            | Todos os efeitos possíveis      |
| Individualista (I) | Curto prazo         | Danos podem ser remediados através do desenvolvimento económico e tecnológico (adaptação) | Só efeitos com provas concretas |

A perspetiva Hierárquica (H) é a perspetiva utilizada por defeito, sendo as restantes perspetivas utilizadas para análise de sensibilidade.

Na etapa de ponderação, os pesos atribuídos a cada área de dano variam consoante a perspetiva, tal como é apresentado na Tabela 2 (Goedkoop & Spriensma, 2000).

**Tabela 2** - Pesos da etapa de ponderação pelo método Eco-Indicator 99 (PRé, 2015)

|                            | Média (A) | Hierárquica (H) | Igualitária (E) | Individualista (I) |
|----------------------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Qualidade dos ecossistemas | 40%       | 40%             | 50%             | 25%                |
| Saúde Humana               | 40%       | 30%             | 30%             | 55%                |
| Recursos                   | 20%       | 30%             | 20%             | 20%                |

O modelo padrão consiste em usar a perspetiva hierárquica (H), com a ponderação média (A), sendo denominada de Europe EI 99 H/A (Goedkoop & Spriensma, 2000).

Os valores finais obtidos, apesar de serem adimensionais, são denominados de *Eco-Indicator Points* (Pt), ou *single endpoint indicator*, que às vezes aparecem na forma de *mili-points* (mPt). Quanto maior for esse valor, maior o impacto do produto ou serviço. Pode-se interpretar 1 Pt como um milésimo da carga ambiental anual de um habitante europeu médio (PRé, 2000).

#### 2.4.2.1.3 ReCiPe 2008

A metodologia ReCiPe é a sucessora dos métodos Eco-Indicator 99 e CML-IA, desenvolvida de forma a conciliar a abordagem orientada para o problema, da metodologia CML-IA, com a abordagem orientada para os danos, da metodologia Eco-Indicator 99 (PRé, 2015).

Tendo em conta o mecanismo ambiental, os métodos com abordagem *midpoint*, orientados para o problema, focam-se na fase inicial, de forma a minimizar as incertezas, visto ser necessário modelar menos o mecanismo ambiental. Porém, como se obtém diversas categorias de impacto, a análise dos resultados é mais complexa. Já os métodos com abordagem *endpoint*, orientados nos danos, focam-se nos efeitos finais, tendo maior incerteza associada. Contudo, a análise dos resultados é mais fácil (PRé, 2015).

A metodologia ReCiPe contém categorias de impacto a nível *midpoint* e *endpoint*, sendo que os fatores de caracterização *midpoint* são multiplicados por fatores de danos, de forma a obter os valores de caracterização *endpoint* (PRé, 2015).

Na Tabela 3 são apresentadas as categorias de impacto a nível *midpoint* e *endpoint* (PRé, 2015).

**Tabela 3** - Categorias de impacto a nível *midpoint* e *endpoint* (PRé, 2015)

| <i>MidPoint</i>   | <i>EndPoint</i>   |
|---|---|
| Alterações climáticas<br>Depleção da camada de ozono<br>Acidificação terrestre<br>Eutrofização de água doce<br>Eutrofização marinha<br>Toxicidade humana<br>Formação de oxidantes fotoquímicos<br>Formação de material particulado<br>Ecotoxicidade terrestre<br>Ecotoxicidade em água doce<br>Ecotoxicidade marinha<br>Radiação ionizante<br>Ocupação de solo agrícola<br>Ocupação de solo urbano<br>Transformação de solo natural<br>Depleção de água doce<br>Depleção de recursos minerais<br>Depleção de combustíveis fósseis | Danos à saúde humana<br>Danos à diversidade dos ecossistemas<br>Danos à disponibilidade de recursos |

Na caracterização ao nível *midpoint*, procede-se ao seguinte cálculo (Goedkoop *et al.*, 2013):

$$I_m = \sum_i Q_{mi} \times m_i \quad (3)$$

Sendo:

- $I_m$ : Indicador da categoria de impacto *midpoint*  $m$
- $m_i$ : Magnitude da intervenção  $i$  (ex: massa de CO<sub>2</sub> libertada para o ar)
- $Q_{mi}$ : Fator de caracterização que relaciona a intervenção  $i$  com a categoria de impacto  $m$

Tal como o método Eco-Indicator 99, o ReCiPe engloba três versões de ponderação e normalização, utilizando a teoria de perspetivas culturais, nomeadamente: Hierárquica, Individualista e Igualitária. Da mesma forma, o modelo padrão consiste em usar a perspetiva Hierárquica (H), com a ponderação média (A) (Comissão Europeia, 2010).

No Anexo 3 é apresentado o modelo da metodologia ReCiPe com maior detalhe.

Uma desvantagem associada a este método é que não tem um modelo *endpoint* para a categoria de impacto de eutrofização marinha, visto que não se conseguiu estabelecer uma relação quantitativa (Goedkoop *et al.*, 2013).

#### 2.4.2.2 Softwares

Existem vários *softwares*, tal como o SimaPro, Gabi e OpenLCA, que permitem a realização de uma Avaliação de Ciclo de Vida, incorporando diversas metodologias que auxiliam na avaliação de impacto de ciclo de vida, assim como bases de dados para as atividades de *Background*.

O SimaPro é uma ferramenta desenvolvida pela PRé Consultants, estando disponível em várias versões, contendo informação Europeia e internacional validada. A versão mais atualizada deste programa é a versão SimaPro 8. O programa engloba várias metodologias de avaliação de impacto de



ciclo de vida, como por exemplo, ReCiPe, EcoIndicator 99 e CML-IA. Os resultados podem ser apresentados na forma de tabelas ou gráficos (EcoWater, 2012b).

A versão mais recente do programa incorpora diversas bases de dados, sendo a mais relevante a ecoinvent v3. Esta é a versão melhorada da ecoinvent v2, que contém, por exemplo, dados relativos a produção de energia, transportes, materiais de construção, madeira, metais, químicos, papel, plásticos, tratamento de resíduos e produtos agrícolas. Desta forma, essa constitui, tal como outras bases de dados, uma ferramenta importante para completar dados relativos a atividades de Background (Frischknecht *et al.*, 2007).

### 2.4.3 Componente Económica

De forma avaliar a ecoeficiência é necessário avaliar o desempenho do sistema produtivo também numa perspetiva de ciclo de vida, sendo que o valor económico do sistema pode ser avaliado de diversas maneiras. Alguns autores sugerem a utilização da Avaliação de Custo de Ciclo de Vida, uma vez que esta engloba os custos relativos ao produto ao longo de todo o seu ciclo de vida. O WBCSD sugere a utilização de indicadores económicos, mais fáceis de interpretar. Por exemplo, o valor económico adicionado de um determinado produto pode ser expresso em termos de lucro líquido, isto é, o lucro bruto reduzido dos custos. O indicador económico a utilizar deve representar um tipo de valor criado durante o tempo de vida do produto ou sistema, assegurando sempre a perspetiva de ciclo de vida (Baptista *et al.*, 2014).

Para além de valores monetários, podem ser utilizados benefícios tangíveis ao utilizador. Por exemplo, a garantia de uma lâmpada é um valor numérico que representa o desempenho funcional do produto e que deve ser maximizado (Baptista *et al.*, 2014).

Na Tabela 4 estão indicados alguns indicadores económicos que podem ser utilizados numa Avaliação da Ecoeficiência. Os indicadores gerais podem ser aplicados a qualquer negócio e são mais universais, enquanto que os indicadores específicos podem ser mais aplicados num determinado setor, apresentando um menor campo de aplicação (Baptista *et al.*, 2014).

**Tabela 4** - Exemplo de alguns Indicadores Económicos (Baptista *et al.*, 2014)

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Indicadores Gerais</b>      | Quantidade de produtos produzidos (ton) |
|                                | Durabilidade (anos)                     |
|                                | Vendas (€)                              |
|                                | Lucro Líquido (€)                       |
| <b>Indicadores Específicos</b> | Valor Total Adicionado (€)              |
|                                | EBITDA (€)                              |
|                                | Custos de Produção (€)                  |

### 2.4.4 Estudos realizados ao ciclo urbano da água

Já foram realizados vários estudos de Avaliação de Ciclo de Vida no setor da água, sendo utilizados como ferramentas para uma gestão sustentável da água. A maioria foi aplicada com o intuito de comparar várias tecnologias de tratamento de água e de águas residuais, assim como tecnologias de tratamento de lamas. Nestes estudos obtiveram-se vários perfis ambientais, sendo que alguns apresentaram maiores impactes na etapa de Distribuição de Água, enquanto outros apresentaram

maiores impactes no Tratamento de Águas Residuais. A comparação dos estudos apresenta alguma dificuldade pois cada um deles relata um caso específico e porque foram utilizadas diferentes metodologias. Na Tabela 5 são apresentados de forma resumida, alguns estudos sobre de Avaliação de Ciclo de Vida do ciclo urbano da água.

**Tabela 5 - Resumo de estudos realizados sobre o ciclo urbano da água**

| Estudo                               | Lemos <i>et al.</i> , (2013)  | Amores <i>et al.</i> , (2013)  | Barjoveanu <i>et al.</i> , (2013)                         | Friedrich <i>et al.</i> , (2009)                               | Lassaux <i>et al.</i> , (2007)                           |
|--------------------------------------|---|--|---|--|--|
| Tipo de estudo                       | Avaliação de Ciclo de Vida do ciclo urbano da água                      | Avaliação de Ciclo de Vida do ciclo urbano da água em condições mediterrânicas | Avaliação de Ciclo de Vida do sistema de serviços da água | Avaliação de Ciclo de Vida dos processos de tratamento da água | Avaliação de Ciclo de Vida do ciclo urbano da água       |
| País                                 | Portugal  | Espanha  | Roménia   | África do Sul  | Bélgica  |
| Local                                | Aveiro  | Tarragona  | Iasi  | Durban   | Walloon  |
| Quantidade de água fornecida por ano | 4.350.000 m <sup>3</sup> (ano de referência 2008)                       | 11.368.859 m <sup>3</sup>  | 61.615.721 m <sup>3</sup> (ano de referência 2010)        | -  | 208.000.000 m <sup>3</sup> (ano de referência 2000)      |
| Unidade Funcional                    | 1 m <sup>3</sup>  | 1 m <sup>3</sup>   | 1 m <sup>3</sup>  | 1 m <sup>3</sup>   | 1 m <sup>3</sup>   |
| Abordagem                            | Cradle-to-grave   | Cradle-to-grave  | Cradle-to-grave   | Cradle-to-grave  | Cradle-to-grave  |
| Fases do ciclo de vida estudadas     | Captação; ETA; Distribuição e Drenagem; ETAR; Serviços Administrativos. | Captação; ETA; Distribuição e Drenagem; ETAR.                                  | Captação; ETA; Distribuição e Drenagem; ETAR;             | Captação; ETA; Distribuição e Drenagem; ETAR.                  | Captação; ETA; Distribuição e Drenagem; ETAR.            |
| Metodologia e Software               | ReCiPe; SimaPro   | CML-IA   | CML 2000; Ecoscarcity 2006; SimaPro                       | CML-IA; GaBi 3   | Eco-Indicator 99; CML-IA                                 |
| Etapas da AICV                       | Classificação; Caracterização; Normalização; Ponderação.                | Classificação; Caracterização;   | Classificação; Caracterização; Normalização;              | Classificação; Caracterização;                                 | Classificação; Caracterização; Normalização; Ponderação. |
| Categorias de Impacte Ambiental      | AC; DCF; EM; AT; TH; FOF; ETM; RI                                       | AC; AP; EP; FOF; DRA; PDO; ETP; UAD; NAE                                       | AC;DRA;AP;EP;PDO;TH;ET;ETM;FOF                            | AC; AP; EP; FOF; TH; ETM; ET; DRA                              | AC; EC; ERSO; ERSI; ETM; ET; AT; EM; EMI; ECF            |

|                       |  |   |   |   |   |
|-----------------------|--|---|---|---|---|
| Principais Conclusões | <p>As ETAR tiveram a maior contribuição nas categorias de EM e ETM, devido à descarga de azoto e fósforo. Para as restantes categorias, o consumo de eletricidade foi a principal causa.</p> | <p>O principal impacte do ciclo urbano da água ocorre durante a etapa de Distribuição de água (25% a 42% do total), exceto para EP. Os impactes são devidos maioritariamente ao consumo de eletricidade. A categoria EP tem maior impacte na etapa de Tratamento de Água Residual (ETAR), com cerca de 75%.</p> | <p>Pelo método CML 2000, entre 70% a 78% do impacte total ocorre nas etapas situadas antes do fornecimento de 1m<sup>3</sup>, devido principalmente à sua ineficiência e não pela emissão de poluentes. Apenas a eutrofização é maioritariamente causada pelas etapas posteriores.</p> <p>Pelo Ecoscarcity, os single scores obtidos foram, para as emissões para a água (1,933 Pt), para o ar (1.089 Pt) e recursos naturais (238 Pt).</p> | <p>A eletricidade usada e as perdas de água na Distribuição são os dois principais fatores que contribuem para os impactes ambientais. A reutilização de água traz benefícios ambientais.</p> | <p>A etapa de Tratamento de Água Residual é a que tem maior impacte. A construção do sistema de Drenagem de Águas Residuais tem uma contribuição relevante.</p> |
|-----------------------|--|---|---|---|---|

Legenda das categorias de impacte ambiental:

|  |   |
|--|---|
| Alterações Climáticas (AC)               | Acidificação Potencial (AP)                                       |
| Depleção de Combustíveis Fósseis (DCF)   | Eutrofização Potencial (EP)                                       |
| Eutrofização Marinha (EM)                | Depleção de Recursos Abióticos (DRA)                              |
| Acidificação Terrestre (AT)              | Potencial de Depleção de Ozono (PDO)                              |
| Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) | Efeitos Carcinogénicos (EC)                                       |
| Toxicidade Humana (TH)                   | Efeitos Respiratórios causados por Substâncias Orgânicas (ERSO)   |
| Ecotoxicidade Marinha (ETM)              | Efeitos Respiratórios causados por Substâncias Inorgânicas (ERSI) |
| Ecotoxicidade Terrestre (ET)             | Extração de Minerais (EMI)  |
| Ecotoxicidade Potencial (ETP)            | Uso de Água Doce (UAD)  |
| Radiação Ionizante (RI)                  | Necessidade Acumulada de Energia (NAE)                            |

#### 2.4.4.1 Lemos *et al.*, (2013)

Neste estudo foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida do ciclo urbano da água, tendo como unidade funcional o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável nos pontos de consumo. A cidade estudada foi a de Aveiro, em Portugal, com uma população de 78.450 habitantes. O ano de referência foi o de 2008, sendo que o consumo total foi de 4.350.000 m<sup>3</sup> de água, o que resulta numa média de 0,152 m<sup>3</sup>/hab/dia. Cerca de 99% da população do município de Aveiro é servida por um abastecimento de água potável e 95% é servida por infraestruturas de tratamento de águas residuais.

O objetivo deste estudo foi avaliar e analisar os impactos ambientais associados ao ciclo urbano da água no município de Aveiro, através de uma Avaliação de Ciclo de Vida, de forma a identificar as etapas e processos com os maiores impactos ambientais e propor cenários de melhoria. Foi utilizada a metodologia ReCiPe 2008 e o *software* SimaPro, de forma a avaliar as atividades de *Foreground* e *Background*.

A etapa de Tratamento de Águas Residuais teve a maior contribuição nas categorias de eutrofização marinha e ecotoxicidade marinha (98% do impacto total), principalmente devido à libertação de azoto e fósforo, respetivamente, no mar. Este resultado era expectável considerando que as ETAR não possuem uma etapa de nitrificação e desnitrificação (Lemos *et al.*, 2013).

Nas restantes categorias, a Captação e Tratamento de Água contribuíram entre 39% e 45% do total dos impactos. O Tratamento de Águas Residuais contribuiu entre 29% e 38%. A Distribuição de Água e a Drenagem de Águas Residuais entre 20 e 25%. A etapa de Serviços Administrativos não foi relevante, apenas contribuindo entre 0,1% e 4% (Lemos *et al.*, 2013).

Em todas estas etapas, o principal contribuinte foi o consumo de eletricidade. Na categoria alterações climáticas, as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) das ETAR e da deposição de lamas tiveram uma contribuição relevante, representando cerca de 27% do impacto da etapa de Tratamento de Águas Residuais e 10% do impacto total (Lemos *et al.*, 2013).

#### **2.4.4.2 Amores *et al.*, (2013)**

Em 2013, foi realizado uma Avaliação do ciclo de vida do ciclo urbano da água, tendo como unidade funcional o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável nos pontos de consumo. A cidade estudada foi a de Tarragona, em Espanha, com uma população de 134.085 habitantes, sendo que o consumo total foi de 11.368.859 m<sup>3</sup> de água, ocorrendo perdas de 20%. As ETAR trataram 9.499.894 m<sup>3</sup> de água em 2008, tendo sido produzidas 8.461 toneladas de lamas para agricultura.

O principal objetivo deste trabalho foi realizar uma Avaliação do Ciclo de Vida do ciclo urbano da água numa área Mediterrânica. Foi estudada a cidade de Tarragona devido ao seu clima tipicamente mediterrânico de baixa precipitação e secas frequentes.

O principal impacto do ciclo urbano da água ocorreu durante a etapa de Distribuição de Água (25% a 42% do total), exceto para eutrofização potencial, devido ao elevado consumo de energia para bombagem da água. A categoria de eutrofização potencial (EP) tem maior impacto na etapa de Tratamento de Água Residual (ETAR), cerca de 75%, devido à elevada quantidade de nutrientes. Verificou-se que o uso de lamas na agricultura evita a produção de fertilizantes sintéticos, poupando-se energia, recursos e diminuindo emissões, pelo que acarreta benefícios ambientais (Amores *et al.*, 2013).

#### **2.4.4.3 Barjoveanu *et al.*, (2013)**

O terceiro estudo aqui apresentado, também realizado em 2013, analisou a cidade de Iasi, na Roménia, com uma população de 350.000 habitantes, sendo que o consumo total foi de 61.615.721 m<sup>3</sup> de água.

O caso de estudo realça os problemas de baixa conectividade aos sistemas de distribuição de água (82,93%) e de saneamento (80,69%), a desatualização das infraestruturas de tratamento, que se refletem em baixas eficiências económicas e ambientais.

O principal objetivo deste estudo foi analisar através de uma Avaliação do Ciclo de Vida, todo o ciclo urbano da água na cidade de Iasi, que é uma cidade representativa dos problemas enfrentados no sector da água naquele país, bem como demonstrar a utilidade prática desta ferramenta na tomada de decisões.

Neste estudo, verificou-se que os maiores impactes ocorreram nas etapas anteriores ao fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água ao consumidor, devido à energia necessária para distribuir a água e elevadas perdas de água que se verificam no sistema (Barjoveanu *et al.*, 2013).

Relativamente à Distribuição, verificou-se que 77% do impacte se deve ao consumo de energia, sendo realçada a existência de perdas reais de água de 41%, justificadas pela antiguidade da tubagem, existindo alguns troços do sistema com mais de 100 anos e onde se verificam perdas acima de 75% (Barjoveanu *et al.*, 2013).

#### **2.4.4.4 Friedrich *et al.*, (2009)**

Este estudo de 2009 analisou a cidade de Durban, na África do Sul, sendo o ano de referência o ano de 2000.

O objetivo deste estudo foi elaborar um perfil ambiental do ciclo urbano da água em contexto urbano, assim como analisar as consequências ambientais de utilizar água diretamente dos rios e água tratada nas ETAR, ou seja, reciclagem da água, para serem utilizadas pela indústria. Este estudo revelou-se de grande importância por ter sido o primeiro realizado na África do Sul e por estar englobado num contexto de escassez de água.

Este estudo permitiu concluir que a etapa de Tratamento de Águas Residuais é a que mais contribui em todas as categorias de impacte. Foi analisada a reciclagem das águas residuais para a indústria, tendo-se verificado que é a que apresenta menor impacte em todas as categorias, exceto na depleção da camada de ozono (Friedrich *et al.*, 2009).

A eletricidade foi, mais uma vez, o maior contribuidor em todas as categorias de impacte, uma vez que esta é produzida maioritariamente usando carvão (Friedrich *et al.*, 2009).

#### **2.4.4.5 Lassaux *et al.*, (2007)**

A cidade analisada foi a de Wallon, na Bélgica, com uma população de 3.500.000 habitantes, sendo que o consumo total foi de 208.000.000 m<sup>3</sup> de água.

O objetivo deste estudo foi determinar o impacte ambiental do uso de 1 m<sup>3</sup> de água na região de Wallon. O estudo foi desenvolvido no contexto da Diretiva Quadro da Água, fazendo parte do programa PIRENE, lançado na região para cumprir os requisitos desta Diretiva.

Neste estudo, verificaram que existia uma relação entre a quantidade de águas residuais tratadas e o impacte nas categorias de acidificação e eutrofização. Aumentando a quantidade de águas residuais tratadas, diminui o impacte das categorias de acidificação e eutrofização, visto ocorrer mais tratamento, porém, aumenta os impactes das restantes categorias, visto que se usa mais eletricidade e reagentes (Lassaux *et al.*, 2007).

A acidificação e eutrofização são as categorias de impacto mais relevantes, sendo causadas principalmente pela água residual que é libertada sem tratamento, sendo que o estudo encoraja a inclusão de etapas de tratamento que removam fósforo e azoto (Lassaux, et al., 2007).

#### **2.4.4.6 Loubet et al., (2014)**

Para além dos 6 estudos até aqui apresentados, foi consultado um trabalho realizado em 2014, por Loubet et al., onde compilam 18 estudos de avaliação de ciclo de vida, relativos a todo o ciclo urbano da água, incluindo as etapas de captação, tratamento, distribuição, saneamento e tratamento de águas residuais (Loubet et al., 2014).

Desses 18 estudos, 50% (9 estudos) definiram como unidade funcional o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável ao consumidor, 17% (3 estudos) definiram como o fornecimento e tratamento de água por pessoa por ano (1 pessoa/ano), 17% (3 estudos) definiram como fornecimento e tratamento por cidade por ano (1 cidade/ano). Os restantes 6 estudos não definiram uma unidade funcional, mas ficou implícito que assumiram 1 m<sup>3</sup> ou 1 cidade/ano (Loubet et al., 2014).

Dos estudos analisados, apenas 3 consideraram os consumidores como parte do sistema, mostrando que estes podem ter um impacto ambiental, devido à utilização de aquecedores de água ou à libertação direta de água no seu local de utilização. Apenas 2 estudos incluíram a etapa de Serviços Administrativos, onde incluíram, por exemplo, o consumo elétrico nos edifícios e o combustível usado pela frota de veículos (Loubet et al., 2014).

O fim de vida das lamas produzidas nas ETAR foi considerado em 12 estudos, sendo englobadas por exemplo, aplicações agrícolas, aterro, incineração e compostagem. Destes, 6 consideraram como benefício, o uso das lamas como uma substituição do uso de fertilizantes químicos (Loubet et al., 2014).

As emissões originadas na Drenagem de Águas Residuais não foram consideradas em nenhum estudo (Loubet et al., 2014).

Quanto aos resultados, verificou-se que independentemente da categoria de impacto analisada, as maiores contribuições vinham da etapa de Tratamento de Águas Residuais, tendo uma média de contribuição de 44% nas alterações climáticas e 78% na eutrofização. De seguida, a Captação e Tratamento da Água e a Distribuição com contribuições próximas. A Drenagem de Águas Residuais apresentou baixa contribuição em todas as categorias. A etapa de Serviços Administrativos, realizada em 2 estudos, teve pouca contribuição nos impactos (Loubet et al., 2014).

Oito estudos avaliaram ainda a contribuição individual de cada componente, por exemplo, eletricidade e reagentes, tendo-se verificado que em todos eles, a eletricidade é o principal contribuidor para os impactos (Loubet et al., 2014).

Todos os estudos apresentados até aqui não contemplam a componente económica, que é uma das partes essenciais para a determinação da ecoeficiência, focando apenas os impactos ambientais. De seguida serão apresentados 2 casos que abordam a componente ambiental e económica.

#### 2.4.4.7 AQUAENVEC

Relativamente a projetos sobre ecoeficiência do ciclo urbano da água, destaca-se o projeto AQUAENVEC (LIFE10 ENV/ES/520), financiado pela Comissão Europeia, com um orçamento de 1.594.113 € e que decorreu entre Janeiro de 2012 e Maio de 2015. O estudo abordou duas cidades de pequena a média dimensão, nomeadamente a cidade de Betanzos (13.537 habitantes), na região atlântica e a cidade de Calafell (24,984 habitantes), na região mediterrânica (AQUAENVEC, 2015).

O Tratamento de Água apresenta maior contribuição para a depleção da camada de ozono, devido ao uso de compostos clorados na desinfecção, enquanto que as ETAR apresentam maior impacto a nível de eutrofização, devido à descarga de nutrientes no efluente. Concluiu-se ainda que os impactos económicos e ambientais relacionados com a construção da ETA e ETAR são desprezáveis quando comparados com a sua operação e manutenção. No entanto, no caso do sistema de Distribuição e Drenagem, a fase de construção é relevante, pelo que o tipo de material usado na tubagem determina posteriormente a performance ambiental e económica da sua manutenção (AQUAENVEC, 2015).

Um dos principais resultados do projeto foi a elaboração de uma ferramenta gratuita, disponível no website do projeto, que permite avaliar a ecoeficiência do ciclo urbano da água (AQUAENVEC, 2015).

#### 2.4.4.8 EcoWater

Outro projeto que merece destaque é o projeto de investigação EcoWater “*meso-level eco-efficiency indicators to assess Technologies and their uptake in water use sectors*” apoiado através do 7º Programa-Quadro da Comissão Europeia, que decorreu entre 1/11/2011 e 31/10/2014. O principal objetivo do projeto foi desenvolver indicadores de ecoeficiência para avaliar tecnologias inovadoras, de forma a entender como a aplicação dessas tecnologias em sistemas de água influenciam o perfil ambiental e económico, bem como a ecoeficiência geral, do uso da água em diferentes setores (EcoWater, 2013).

O projeto analisou metodologias e programas já existentes, que pudessem ser utilizados para avaliar a ecoeficiência, culminando na criação de 2 ferramentas, o SEAT (*Systemic Environmental Analysis Tool*), que permite avaliar a parte ambiental e o EVAT (*Economic Value chain Analysis Tool*), para a parte económica (EcoWater, 2012b).

Foram analisados 2 casos sobre o ciclo urbano da água, mais concretamente a cidade de Sofia, na Bulgária, assim como a cidade de Zurique, na Suíça. A unidade funcional escolhida foi 1 consumidor servido, uma vez que o “produto” foi definido como sendo os serviços da água. Nos dois casos foi considerado como *Foreground* o uso da água pelos consumidores domésticos e não domésticos. No caso dos domésticos foi tido em conta a energia necessária para o aquecimento de água através, por exemplo, de caldeiras, assim como a energia utilizada por máquinas de lavar roupa e máquinas de lavar loiça (EcoWater, 2014). A razão de incluir o uso da água, deve-se a um estudo realizado por Flower *et al.*, (2007), que demonstrou que os equipamentos de uso doméstico de aquecimento e utilização de água, devido ao elevado consumo de energia, emitem mais gases com efeito de estufa do que todas as operações a montante e jusante do ciclo urbano da água (Flower *et al.*, 2007).

Os resultados, nos dois casos, confirmaram que a etapa do uso da água é quem mais contribui para o impacto global, seguidos do Tratamento de Águas Residuais (EcoWater, 2014).





### 3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

#### 3.1 Setor da Água em Portugal

A Assembleia Geral das Nações Unidas declarou em 2010, que o acesso à água potável e ao saneamento é um direito humano essencial, pelo que obriga os Estados a respeitar, proteger e assegurar esse direito, não significando porém a gratuitidade dos serviços (ERSAR, 2015a).

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), é responsável pela coordenação e fiscalização da aplicação do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano e onde são definidos os parâmetros químicos e microbiológicos a cumprir. Anualmente, a ERSAR elabora um relatório sobre o controlo da qualidade da água para consumo humano, sendo o relatório mais atual o de 2015, com informação relativa ao ano de 2014 (ERSAR, 2015b).

Na Tabela 6 e Tabela 7, encontram-se condensados os principais números dos serviços de abastecimento público de água em Portugal Continental, reportados pela ERSAR e referentes a 2014 (ERSAR, 2015a).

**Tabela 6 - Dados do serviço de abastecimento de água do sistema em alta (ERSAR, 2015a)**

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Nº de entidades gestoras do serviço em alta | 15                                 |
| Água Captada                                | 543 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Rendimentos Totais                          | 314 milhões de €/ano               |
| Gastos Totais                               | 260 milhões de €/ano               |
| Perdas Reais                                | 20 milhões de m <sup>3</sup> /ano  |
| Consumo de energia no bombeamento           | 344 milhões de kWh/ano             |
| Produção própria de energia                 | 0,3% do total de energia consumida |
| Lamas do tratamento produzidas              | 21.529 ton/ano                     |

**Tabela 7 - Dados do serviço de abastecimento de água do sistema em baixa (ERSAR, 2015a)**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Nº de entidades gestoras do serviço em baixa | 262                                |
| Água Captada                                 | 239 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Nº habitantes servidos                       | 9,6 milhões de habitantes          |
| Capitação de água consumida                  | 198 L/habitante.dia                |
| Rendimentos Totais                           | 797 milhões de €/ano               |
| Gastos Totais                                | 753 milhões de €/ano               |
| Perdas Reais                                 | 147 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Consumo de energia no bombeamento            | 252 milhões de kWh/ano             |
| Produção própria de energia                  | 4,1% do total de energia consumida |
| Lamas do tratamento produzidas               | 1.048 ton/ano                      |

Na Tabela 8 e Tabela 9, é apresentada informação relativa ao serviço de drenagem de águas residuais urbanas em Portugal Continental (ERSAR, 2015a).

**Tabela 8 - Dados do serviço de drenagem de águas residuais em alta (ERSAR, 2015a)**

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Nº de entidades gestoras do serviço em alta | 19                                 |
| Água Residual Recolhida                     | 563 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Água Residual Faturada                      | 473 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Rendimentos Totais                          | 318 milhões de €/ano               |
| Gastos Totais                               | 307 milhões de €/ano               |
| Consumo de energia                          | 278 milhões de kWh/ano             |
| Produção própria de energia                 | 7,9% do total de energia consumida |

**Tabela 9 - Dados do serviço de drenagem de águas residuais em baixa (ERSAR, 2015a)**

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Nº de entidades gestoras do serviço em baixa | 264                                |
| Água Residual Recolhida                      | 619 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Água Residual Faturada                       | 412 milhões de m <sup>3</sup> /ano |
| Nº habitantes servidos                       | 8,4 milhões de habitantes          |
| Rendimentos Totais                           | 476 milhões de €/ano               |
| Gastos Totais                                | 567 milhões de €/ano               |
| Consumo de energia                           | 102 milhões de kWh/ano             |
| Produção própria de energia                  | 1,3% do total de energia consumida |
| Lamas do tratamento produzidas               | 96.848 ton/ano                     |

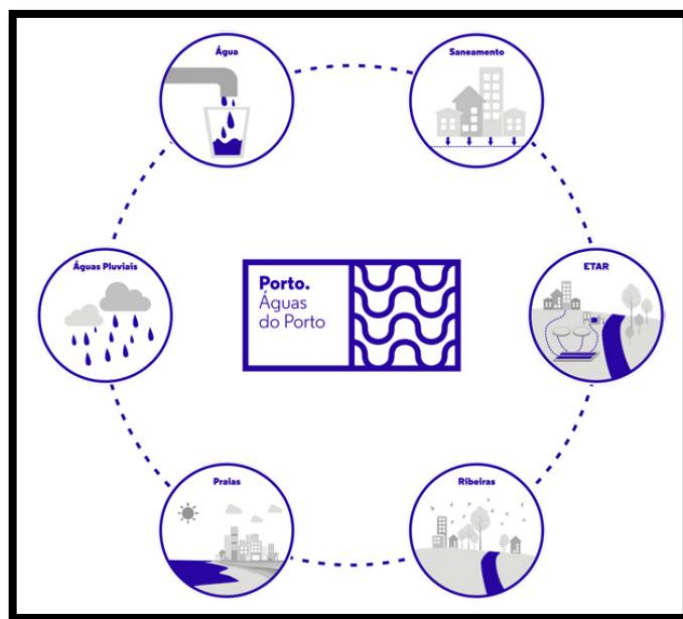
Ao longo dos últimos vinte anos, tem-se observado uma grande evolução do setor do abastecimento público de água em Portugal. Enquanto que em 1993 apenas 50% da água para abastecimento urbano era considerado como água controlada e de boa qualidade (água segura), atualmente ronda os 98% (ERSAR, 2015b).

### 3.2 Apresentação da Águas do Porto, E.M.

A Águas do Porto, E.M. é uma empresa municipal, constituída em outubro de 2006, cujo capital social é detido, na sua totalidade, pela Câmara Municipal do Porto. Tem como objeto social a gestão integrada e sustentável do ciclo urbano da água no Município do Porto, tal como se pode observar na Figura 8 (Águas do Porto E.M., 2015).

Desta forma, verifica-se que as áreas de intervenção da empresa englobam a distribuição de água, a drenagem e tratamento de águas residuais, a drenagem de águas pluviais, bem como a gestão e monitorização das praias e ribeiras do Porto. Também é promovida a educação ambiental, através do Pavilhão da Água.

Em 2015, a empresa servia 152.542 clientes, que se traduz num equivalente populacional de 500.000 habitantes, sendo que, em média, são fornecidos cerca de 45.490 m<sup>3</sup>/dia de água aos portuenses. O Laboratório de Análises da empresa, que está acreditado pelo Instituto Português de Acreditação, assegura o controlo analítico da qualidade da água. Em 2015, foram realizadas 49.588 análises à água distribuída, de forma cumprir a legislação europeia e portuguesa. A nível das águas residuais, foram recolhidos diariamente cerca de 48.262 m<sup>3</sup> e encaminhados para as ETAR do Freixo e de Sobreiras, sendo submetidos a análises físico-químicas e bacteriológicas, tanto à entrada como à saída. Todos os parâmetros de descarga do efluente final são cumpridos (Águas do Porto E.M., 2015).



**Figura 8 - Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água (Águas do Porto E.M., 2015)**

### **3.3 Ciclo Urbano da Água na cidade do Porto**

#### **3.3.1 Sistema de Distribuição de Água**

##### **3.3.1.1 Sistema em alta**

A Águas do Norte S.A. é a entidade responsável pelo sistema em alta, isto é, pela captação, tratamento e fornecimento de água ao município do Porto (Águas do Porto E.M., 2015).

A água é proveniente das captações de Lever I – Gaia e Lever II – Porto, sendo posteriormente tratada na ETA de Lever (Águas do Porto E.M., 2015).

O Complexo de Lever abastece cerca de 1,8 milhões de habitantes dos 20 municípios acionistas da empresa. Este situa-se na margem esquerda do Rio Douro, contemplando a captação de água superficial, um reservatório de água bruta e outro de água tratada, uma unidade de pré-tratamento, a ETA de Lever, uma unidade de tratamento de lamas, duas subestações elétricas, além de três poços de captação em profundidade e duas estações elevatórias. A ETA de Lever tem uma capacidade instalada para produzir diariamente 400.000 m<sup>3</sup> de água (Águas do Douro e Paiva S.A., 2005).

Na Tabela 10 encontram-se apresentadas as fases do processo de Captação e Tratamento da Água no Complexo de Lever (Águas do Douro e Paiva S.A., 2005).

Após passagem pela ETA de Lever, o sistema adutor em alta transporta a água até aos reservatórios multimunicipais de Jovim e Ramalde, sendo que a partir destes, existem dois eixos adutores principais para a cidade do Porto. Um desenvolve-se a norte, ao longo da Estrada da Circunvalação, enquanto que o outro, a sul, abastece o reservatório de Nova Sintra (Águas do Porto E.M., 2014).

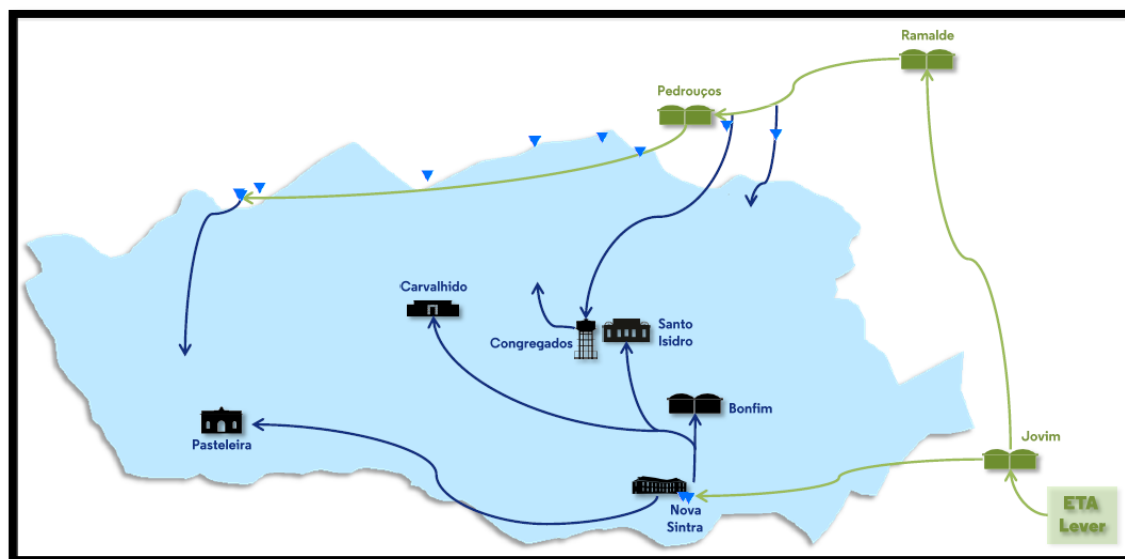
**Tabela 10 - Fases do processo na ETA de Lever (Águas do Douro e Paiva S.A., 2005)**

| Etapa                              | Descrição  |
|------------------------------------|--|
| Captação                           | Captação na albufeira de Crestuma-Lever por grupos de elevação submersíveis (6 bombas para captação, com uma capacidade de 1.050 L/s/bomba), sendo a água encaminhada para um reservatório de água bruta.  |
| Pré-Tratamento                     | É realizada uma filtração pressurizada (sem adição de químicos), passando por filtros “multicamada”, compostos por uma camada de antracite e diversas camadas de areia, de diferente granulometria. Deste modo, a turvação da água é reduzida.   |
| Pré-Oxidação                       | Ao sair do pré-tratamento, a água é tratada com ozono (O <sub>3</sub> ), que oxida a matéria orgânica e elimina microrganismos e algas. O ozono é produzido localmente, a partir de oxigénio.  |
| Floculação                         | A água é doseada com sulfato de alumínio (coagulante), conjuntamente com floculante (embora este só em caso de necessidade). Estes reagentes permitem agregar as partículas em suspensão. A mistura destes produtos com a água é feita sem recorrer a misturadores mecânicos, o que permite reduzir os custos energéticos. |
| Doseamento de Carvão Ativado em Pó | Em caso de necessidade, é adicionado carvão ativado em pó, de forma a remover eventuais pesticidas e melhorar as características organoléticas da água.  |
| Flotação e Filtração               | Os flocos formados na etapa de floculação são arrastados para a superfície por microbolhas de ar introduzidas na unidade. Posteriormente, a água clarificada entra num filtro, composto por areia e antracite, que captura partículas sólidas mais pequenas. Esta etapa permite remover eficazmente algas.                 |
| Desinfeção Final                   | Através da introdução de cloro, garante-se a qualidade bacteriológica da água produzida ao longo da rede de adução e distribuição.   |
| Elevação da Água Tratada           | Recorrendo a um reservatório de 30.000 m <sup>3</sup> , armazena-se a água tratada, sendo esta posteriormente encaminhada para os reservatórios de Jovim, Lagoa e Seixo Alvo.  |
| Tratamento de Lamas                | As lamas recolhidas na fase de flotação e filtração, assim como as águas de lavagem dos filtros, são encaminhadas para o tratamento de lamas, onde são desidratadas. É realizado espessamento das lamas e centrifugação. A água recuperada volta ao início do processo de tratamento de água.                              |

O fornecimento de água à empresa Águas do Porto, E.M., é realizado através de 12 pontos de entrega, distribuídos pelos dois eixos adutores. A partir destes pontos de entrega, a água é distribuída para seis reservatórios municipais e, de forma direta, para a rede de distribuição ao longo do eixo adutor da Estrada da Circunvalação (Águas do Porto E.M., 2014).

### 3.3.1.2 Sistema em baixa

O sistema em baixa corresponde ao armazenamento e distribuição de água, fornecendo um total de 152.542 clientes, em 2015 (Águas do Porto E.M., 2015). Na Figura 9 está apresentado a verde o sistema em alta da Águas do Norte S.A. e a azul a adução em baixa pela Águas do Porto E.M. aos reservatórios municipais.



**Figura 9 - Sistema de abastecimento de água do Porto (Águas do Porto E.M., 2015)**

Já na cidade do Porto, a água é encaminhada para os seis reservatórios municipais, nomeadamente: Bonfim, Carvalhido, Congregados, Nova Sintra, Pateleira e Santo Isidro. A capacidade total de armazenamento é de 125.450 m<sup>3</sup>, que corresponde a uma capacidade de reserva superior a 2 dias de consumo (Águas do Porto E.M., 2014).

A rede de distribuição de água apresenta uma extensão total de 785 Km, sendo que 42 Km correspondem a condutas adutoras e 743 Km a condutas distribuidoras, existindo 67.597 ramais domiciliários, à data de 31 de dezembro de 2015 (Águas do Porto E.M., 2015).

O Projeto Porto Gravítico (2006-2012) permitiu reestruturar a rede de distribuição, tornando o abastecimento de forma gravítica quase na sua totalidade, sendo que, atualmente, apenas está em funcionamento a estação elevatória dos Congregados, para abastecer a zona de cota mais elevada da cidade, cujo abastecimento gravítico não é possível devido à topografia do terreno (Águas do Porto E.M., 2014).

Este projeto permitiu reduzir de forma significativa o consumo elétrico para bombear a água dos eixos adutores para os reservatórios, originando benefícios económicos e ambientais. Permitiu evitar, entre 2006 e 2012, emissões à volta de 1.840 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, promovendo assim uma economia regional de baixo carbono. Esta solução revela-se também a mais favorável do ponto de vista operacional, conduzindo a uma maior estabilidade das pressões na rede e elimina os pontos com pressões excessivamente altas, contribuindo para a ocorrência de roturas e fugas e, consequentemente, as perdas de água (Águas do Porto E.M., 2012).

### 3.3.1.3 Aquisição de Água

Em 2015, a empresa adquiriu 20.814.248 m<sup>3</sup>, correspondendo a uma média diária de 57.025 m<sup>3</sup>. Tem-se verificado uma redução da quantidade adquirida ao longo dos anos, devido à diminuição da água não faturada. Contudo, no ano de 2015 ocorreu, pela primeira vez, um aumento da água adquirida à Águas do Norte S.A., mais concretamente 2,37% relativamente a 2014. Isto é devido ao incentivo do consumo de água da torneira, assim como um crescimento da cidade do Porto em termos turísticos (Águas do Porto E.M., 2015). Na Figura 10 é apresentada a evolução da água adquirida.

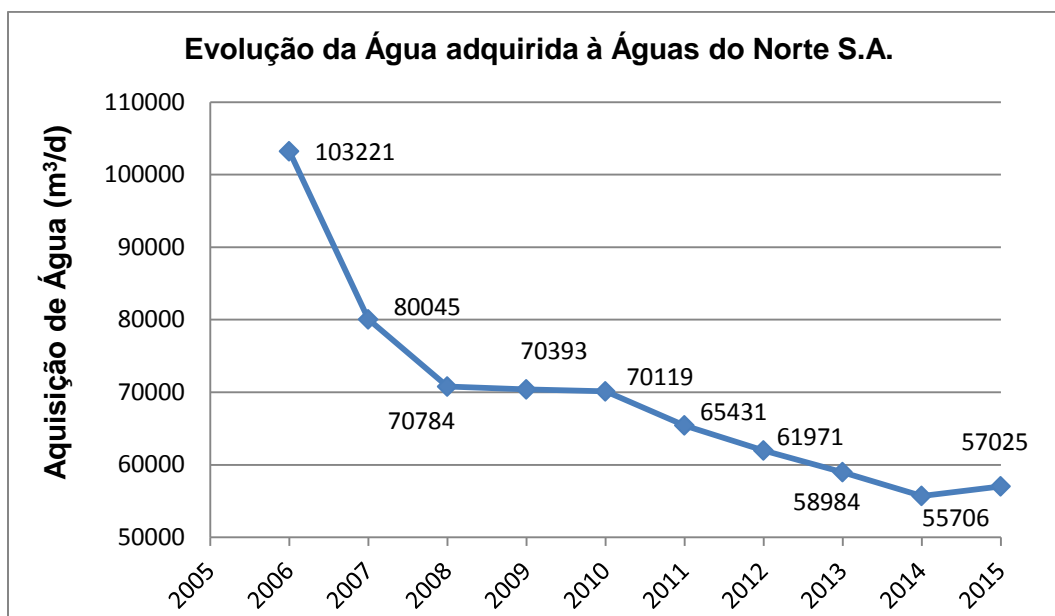


Figura 10 - Evolução da água adquirida (Águas do Porto E.M., 2015)

### 3.3.1.4 Venda de Água

Em 2015, foram vendidos 16.603.906 m<sup>3</sup> de água, correspondendo a uma média diária de 45.490 m<sup>3</sup>. Desde 2010 que se verifica uma trajetória descendente do consumo de água, devido ao quadro de crise económica e financeira e à alteração dos padrões de consumo doméstico, que representa 63,8% do volume total, tal como se observa na Tabela 11 (Águas do Porto E.M., 2015). Na Figura 11 é apresentada a evolução da água faturada.

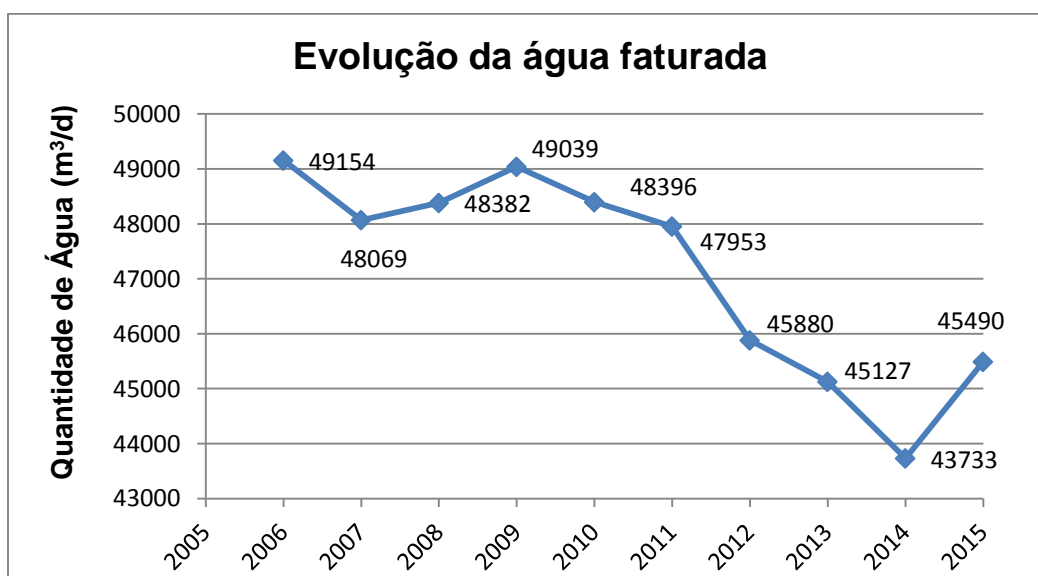


Figura 11 - Evolução da água faturada (Águas do Porto E.M., 2015)

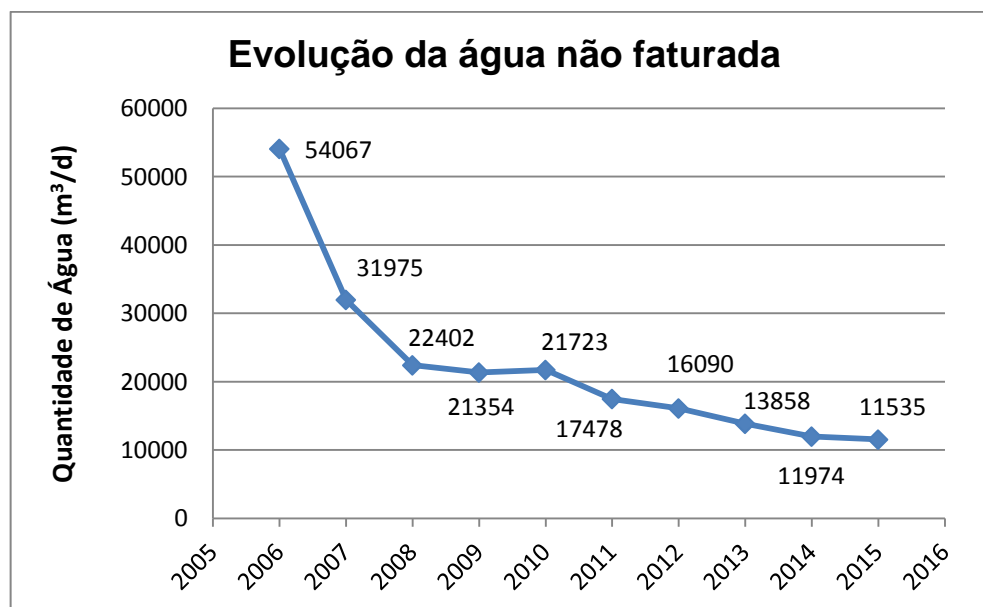
Contudo, de 2014 para 2015, ocorreu um aumento de 4%, ou seja, 1.751 m<sup>3</sup>/dia (Águas do Porto E.M., 2015). Analisando a Tabela 11, verifica-se que o consumo dos clientes veio a diminuir até 2014, ocorrendo um aumento no ano de 2015.

**Tabela 11 - Evolução da água consumida por tipo de cliente (Águas do Porto E.M., 2015)**

| Tipo de Cliente         | 2012       | 2013       | 2014       | 2015       |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Doméstico               | 10.721.925 | 10.560.235 | 10.346.912 | 10.586.657 |
| Social                  | 1.075.690  | 1.001.467  | 869.502    | 956.316    |
| Empresarial             | 3.391.974  | 3.365.578  | 3.385.603  | 3.603.971  |
| Público                 | 632.570    | 626.537    | 601.809    | 605.922    |
| Autárquico              | 868.871    | 865.893    | 707.404    | 779.668    |
| Próprios                | 55.307     | 51.602     | 51.200     | 71.372     |
| Total (m <sup>3</sup> ) | 16.746.337 | 16.471.312 | 15.962.429 | 16.603.906 |

### 3.3.1.5 Água Não Faturada

Nos últimos anos, o volume de água não faturada tem vindo a diminuir significativamente, tendo registado o seu valor mais baixo em 2015, com 11.535 m<sup>3</sup>/d (Águas do Porto E.M., 2015). Em termos percentuais, os 54.067 m<sup>3</sup>/d em 2006 correspondem a 52,4% de perdas, enquanto que os 11.535 m<sup>3</sup>/d em 2015 correspondem a 20,2%. A Figura 12 demonstra a evolução da água não faturada.



**Figura 12 - Evolução da água não faturada (Águas do Porto E.M., 2015)**

Esta redução resulta de uma maior eficiência na gestão operacional da rede de abastecimento de água, de forma a promover uma redução das perdas reais, através da deteção precoce de fugas e a sua rápida reparação e do controlo da pressão na rede. Os sistemas de monitorização, de telemetria e de telegestão da rede também revelaram ser aspetos importantes, permitindo uma atuação mais eficaz e atempada (Águas do Porto E.M., 2014).

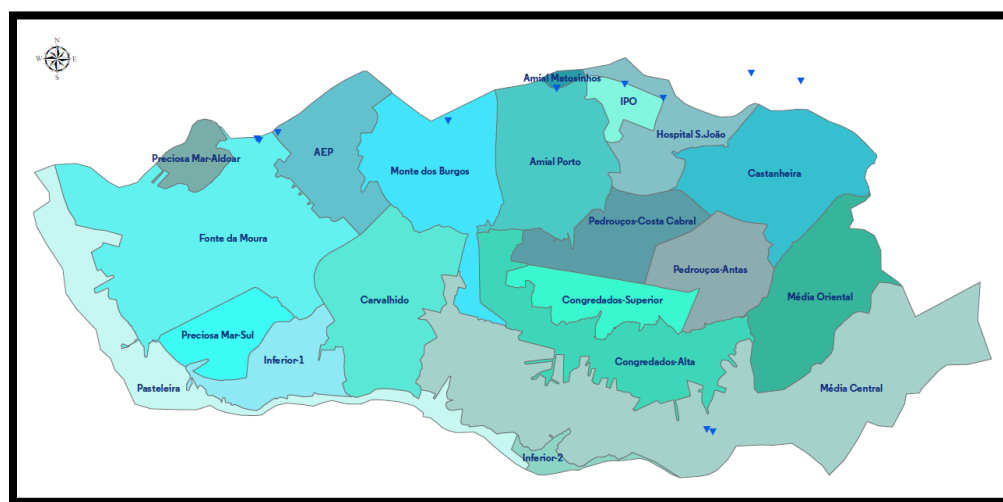


Relativamente às perdas aparentes, relativas a contadores antigos e consumos ilícitos, as medidas passam pela renovação dos contadores através da substituição dos equipamentos mais antigos, pela implementação do sistema de telecontagem e pela deteção precoce de consumos ilícitos (Águas do Porto E.M., 2014).

A redução de perdas permite obter benefícios económicos e ambientais, uma vez que para além de se adquirir menor quantidade de água à Águas do Norte S.A., reduz-se a quantidade de água perdida que foi sujeita a tratamento na ETA e para a qual foram consumidos reagentes químicos e eletricidade, de forma a torná-la potável. Ou seja, contribui-se para que seja captada menor quantidade de água do Rio Douro, se usem menos recursos no seu tratamento, bem como para o uso de menos energia para a distribuição da água.

### 3.3.1.6 Zonas de Medição e Controlo (ZMC)

A rede de distribuição do Porto encontra-se dividida em 18 grandes zonas de abastecimento, designadas Zonas de Medição e Controlo (ZMC), possuindo equipamentos de monitorização e controlo digital, em tempo real, do caudal e da pressão nos pontos de entrega e nos respetivos reservatórios (entradas e saídas). Estas 18 ZMC estão ainda subdivididas em 33 sub-ZMC interiores, para uma monitorização e controlo mais refinados e direcionados dos consumos (Águas do Porto E.M., 2015). Observando a Figura 13 é possível observar as 18 ZMC.



**Figura 13 - 18 ZMC da rede de distribuição de Água do Porto (Águas do Porto E.M., 2015)**

### 3.3.1.7 Controlo de pressão na rede

De forma a controlar a pressão na rede, a empresa tem consolidado um sistema de telemetria para monitorização diária dos níveis de pressão em vários pontos da rede de distribuição, apoiado em *data loggers* criteriosamente distribuídos pelas diferentes ZMC (Águas do Porto E.M., 2015).

Para poder controlar os níveis de pressão mais elevados na rede, bem como a sua flutuação diária, a Águas do Porto E.M. procedeu à instalação de válvulas redutoras de pressão, que visam a redução das pressões excessivas para jusante (Águas do Porto E.M., 2015).



### 3.3.2 Drenagem de Águas Residuais

O Município do Porto encontra-se dividido em dois subsistemas (Oriental e Ocidental), apoiados nas ETAR do Freixo e de Sobreiras, respetivamente, tal como se observa na Figura 14. O sistema tem capacidade para tratar 90.000 m<sup>3</sup>/d de águas residuais (Águas do Porto E.M., 2015).

Quanto à rede de recolha e drenagem de efluentes, esta é constituída por 555 Km de coletores (515 Km correspondem a coletores secundários e 40 Km a coletores gerais/interceptores) e por 23 estações elevatórias (Águas do Porto E.M., 2015).

Nas zonas altas da cidade, graças à gravidade, os coletores secundários conduzem as águas residuais para os coletores gerais/interceptores, através de 17 tanques *Shone*. Nas zonas baixas da cidade, o processo é realizado sob pressão mediante 29 injetores de ar comprimido (Águas do Porto E.M., 2015).

Os coletores gerais/interceptores transportam as águas residuais recolhidas para a ETAR do Freixo e ETAR de Sobreiras, com capacidade para tratar os esgotos de um universo populacional de 370.000 habitantes equivalentes (Águas do Porto E.M., 2015).

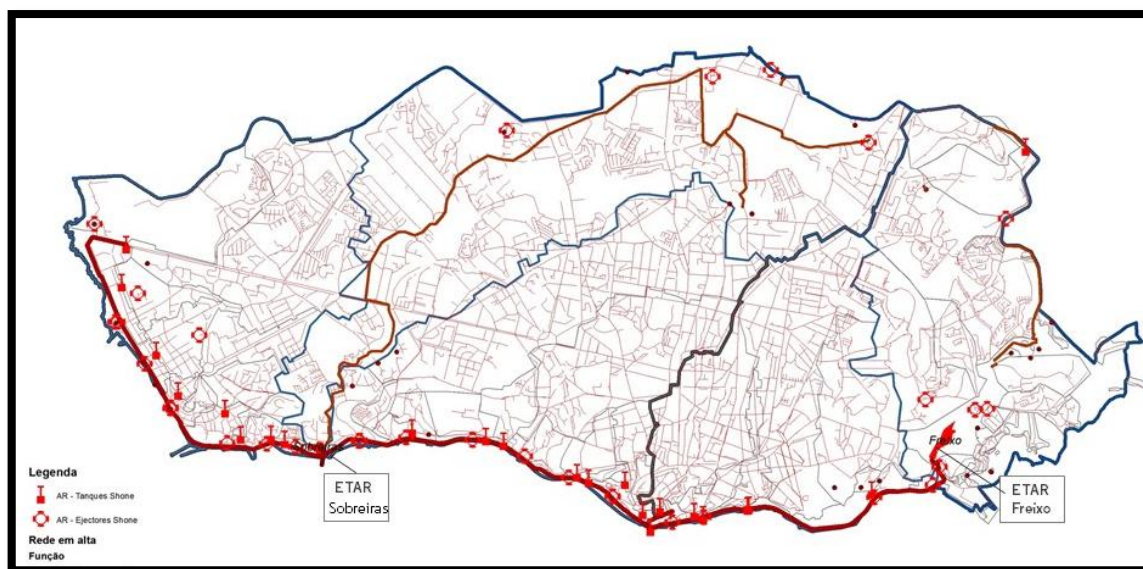


Figura 14 - Sistema de drenagem de águas residuais do Porto (Águas do Porto E.M., 2015)

### 3.3.3 Estações de Tratamento de Águas Residuais

#### 3.3.3.1 ETAR de Sobreiras

Esta ETAR foi dimensionada para tratar, no ano de 2040, um caudal médio diário de 54.000 m<sup>3</sup> de efluentes, tendo capacidade para tratar os esgotos produzidas por um equivalente populacional de 200.000 Habitantes (Águas do Porto E.M., 2015).

Em 2015, a ETAR de Sobreiras, de maior dimensão relativamente à ETAR do Freixo, tratou 11.702.080 m<sup>3</sup> de águas residuais e apresentou um consumo energético de 0,906 kWh por m<sup>3</sup> de água tratada (Águas do Porto E.M., 2015).

Na ETAR de Sobreiras existem três linhas de tratamento: a linha líquida (através da qual se procede ao tratamento do efluente), a linha de lamas e a linha de desodorização (Carvalho, 2010). Cada uma dessas linhas encontra-se resumida na Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14, respetivamente.

**Tabela 12 - Fases da linha líquida na ETAR de Sobreiras (Carvalho, 2010)**

| Etapa                 | Descrição   |
|-----------------------|---|
| Tratamento Preliminar | É efetuada a gradagem, tamisagem, remoção de areias e gorduras (reator biológico de tratamento de gorduras)                         |
| Tratamento Primário   | Através de decantadores primários lamelares, procede-se à remoção da componente sedimentável dos sólidos em suspensão               |
| Tratamento Secundário | Num reator biológico, ocorre remoção dos compostos orgânicos e dos nutrientes (azoto e parte do fósforo) presentes na água residual |
| Tratamento Terciário  | Filtração em leito de areia e desinfecção por radiação ultravioleta   |

**Tabela 13 - Fases da linha de lamas na ETAR de Sobreiras (Carvalho, 2010)**

| Etapa                  | Descrição  |
|------------------------|--|
| Espessamento das lamas | Ocorre o espessamento por flotação das lamas biológicas em excesso. É feita uma mistura e homogeneização das lamas biológicas espessadas com as lamas primárias          |
| Desidratação           | Após homogeneização, as lamas são desidratadas até um teor de sólidos de 25 – 30%. É realizado um condicionamento químico com polímero e desidratação em centrifugadoras |
| Estabilização Química  | É adicionada cal viva, de modo a garantir as condições adequadas ao seu armazenamento, transporte e destino final (higienização)   |
| Armazenamento          | Antes de serem transportadas para o seu destino final, as lamas são armazenadas em dois silos com uma capacidade total de cerca de 270 m <sup>3</sup>                    |

**Tabela 14 - Fases da linha de desodorização na ETAR de Sobreiras (Carvalho, 2010)**

| Etapa                | Descrição  |
|----------------------|--|
| Tratamento de Odores | Constituída por um circuito de extração generalizada de ar viciado do interior de todos os órgãos de tratamento, promovendo também a entrada de ar fresco. A linha de tratamento de ar tem capacidade para tratar 60.000 m <sup>3</sup> /h de ar viciado, sendo que o tratamento consiste numa lavagem química em 3 etapas, nomeadamente: Lavagem ácida com ácido sulfúrico, lavagem oxidante com hipoclorito de sódio e lavagem básica com hidróxido de sódio |

### 3.3.3.2 ETAR do Freixo

Esta ETAR foi dimensionada para tratar um caudal médio diário de 35.900 m<sup>3</sup> de efluentes, tendo capacidade para tratar águas residuais produzidas por um equivalente populacional de 170.000 habitantes. Em 2015, foram tratados 5.913.486 m<sup>3</sup>, verificando-se um consumo de 0,687 kWh/m<sup>3</sup> (Águas do Porto E.M., 2015).

Tal como a ETAR de Sobreiras, é constituída por três linhas de tratamento: a linha líquida, a linha de lamas e a linha de desodorização. A linha líquida é idêntica à ETAR de Sobreiras, com a exceção de não ter filtração (Carmo, 2013).

Quanto às linhas de lamas e desodorização, as etapas estão resumidas na Tabela 15 e Tabela 16 respetivamente, elaboradas com base em Carmo (2013). Apesar do que é descrito na Tabela 15

atualmente não é realizada cogeração, estando a sua implementação prevista para breve. Quando é necessário elevar a temperatura nos digestores, o biogás é encaminhado para um sistema de limpeza e posteriormente utilizado em 2 caldeiras, enquanto que o biogás excedente é queimado.

**Tabela 15 - Fases da linha de lamas na ETAR do Freixo (Carmo, 2013)**

| Etapa                             | Descrição   |
|-----------------------------------|---|
| Espessamento das lamas            | O espessamento é realizado em dois órgãos distintos. Os espessadores gravíticos são destinados ao espessamento das lamas primárias extraídas dos decantadores lamelares. O espessamento das lamas biológicas em excesso é realizado por centrifugadoras   |
| Estabilização biológica das lamas | Digestão anaeróbia mesofílica em dois estágios a uma temperatura média de 35 °C, onde a agitação é mantida por insuflação de biogás. De modo a manter as lamas em digestão, existem duas caldeiras mistas, dois permutadores térmicos de água quente e um motor de cogeração com recuperação de calor. O biogás é aproveitado, por cogeração, para produção de energia elétrica e energia térmica |
| Desidratação das lamas digeridas  | Desidratação das lamas até um teor de sólidos de cerca de 25 - 30%. É realizado um condicionamento químico com polímero e desidratação em centrifugadoras   |
| Estabilização Química             | É adicionada cal viva, de modo a garantir as condições adequadas ao seu armazenamento, transporte e destino final (higienização)  |
| Armazenamento                     | As lamas são armazenadas num silo com uma capacidade de 160 m <sup>3</sup> , seguindo posteriormente para o destino final   |

**Tabela 16 - Fases da linha de desodorização na ETAR do Freixo (Carmo, 2013)**

| Etapa                | Descrição  |
|----------------------|--|
| Tratamento de Odores | Constituída por um circuito de extração generalizada de ar viciado do interior das seguintes unidades: câmara de chegada das águas residuais brutas, edifício dos pré-tratamentos e decantação primária, espessamento de lamas (primárias e biológicas), tanque de mistura das lamas espessadas, desidratação de lamas e silos de armazenamento. A linha de tratamento de ar tem uma capacidade para tratar um volume de 33.000 Nm <sup>3</sup> /h de ar contaminado |

### 3.3.3.3 Controlo analítico de Águas Residuais

De forma a avaliar a qualidade do efluente tratado, o Laboratório da empresa efetua análises de qualidade dos efluentes da ETAR de Sobreiras e da ETAR do Freixo (Águas do Porto E.M., 2015).

Existem alguns parâmetros obrigatórios a analisar, de acordo com as licenças de descarga das duas estações tratamento, como por exemplo (Águas do Porto E.M., 2015):

- CQO, CBO e SST, com uma periodicidade quinzenal;
- Azoto total e fósforo, com uma frequência mensal;
- Metais pesados e 2 compostos halogenados de seis em seis meses.

Em 2015, verificou-se um cumprimento de 100% dos parâmetros legais de descarga. O efluente final tem como último destino o Rio Douro, em conformidade com as normas nacionais e europeias de descarga de águas residuais urbanas em meio hídrico (Águas do Porto E.M., 2015).

### **3.3.4 Drenagem de Águas Pluviais**

O objetivo do sistema de drenagem de águas pluviais consiste em recolher, transportar e descarregar as águas pluviais nos meios recetores (linhas de água e mar), em condições apropriadas (Águas do Porto E.M., 2015).

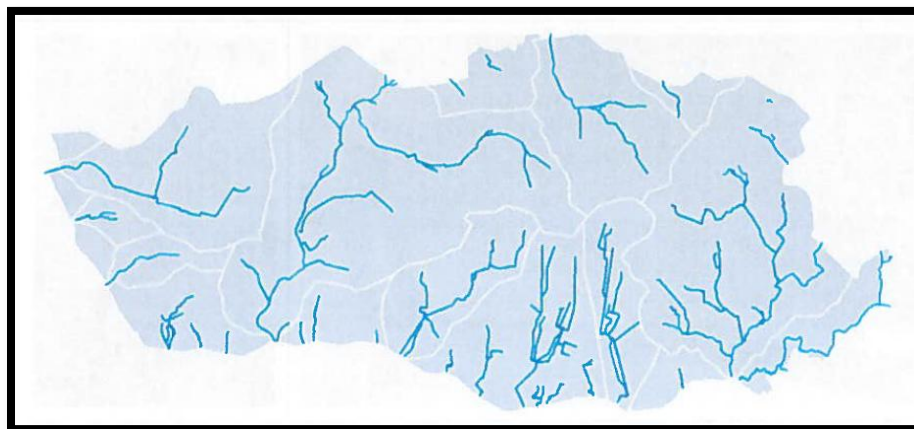
De modo a evitar fenómenos de poluição e para uma gestão mais eficaz, os sistemas de drenagem são separativos, isto é, são constituídos por duas redes coletoras distintas, uma destinada à drenagem de águas residuais e outra destinada à drenagem de águas pluviais (Águas do Porto E.M., 2015).

### **3.3.5 Ribeiras do Porto**

Ao longo dos últimos anos, tem-se vindo a proceder à requalificação das ribeiras da cidade, nos troços a céu aberto e naqueles que, encontrando-se entubados, podem ser reconvertidos em áreas verdes (Águas do Porto E.M., 2014). A Figura 15 representa as ribeiras da cidade do Porto.

Nesta temática verifica-se atualmente a existência de vários projetos, tais como o estudo de uma solução para o desentubamento e reabilitação de um troço da Ribeira de Aldoar, na Avenida da Boavista, de modo a restabelecer as funções ecológicas desta linha de água. Foi desenvolvido o projeto de desentubamento e reabilitação do troço do IPO, da Ribeira da Asprela. Está previsto tornar um troço de 350 metros do Rio da Vila, que corre entre a Estação de S. Bento e o Largo de S. Domingos, num museu visitável (Águas do Porto E.M., 2014).

São promovidas ações de limpeza e manutenção dos espaços verdes em todos os troços a céu aberto na Ribeira da Asprela e na Ribeira da Granja. Estes consistem em práticas diversas, aplicadas principalmente a árvores, arbustos e relvados, de forma a assegurar a vitalidade e sanidade das espécies, bem como elementos de segurança, minimizando o risco de quedas de árvores e inundações (Águas do Porto E.M., 2014).



**Figura 15 - Ribeiras da cidade do Porto (Águas do Porto E.M., 2015)**

### 3.3.6 Praias do Porto

A empresa tem dado continuidade ao Projeto Porto Bandeira Azul, que visa assegurar os padrões de qualidade necessários ao desenvolvimento da prática balnear e ao cumprimento dos critérios necessários para a atribuição da Bandeira Azul (Águas do Porto E.M., 2015).

A qualidade da água balnear do Município do Porto é avaliada em duas fases: no decorrer da época balnear e no final, com base nos resultados dos programas de monitorização tendo por base quatro anos de histórico, encontrando-se essa classificação evidenciada na Figura 16. É importante referir que a classificação da qualidade da água das zonas balneares no ano de 2015 é ainda provisória e aguarda aprovação pela União Europeia (Águas do Porto E.M., 2015).





















| Zona Balnear      | Classificação da Qualidade   |  |  |  |  |
|-------------------|--|--|--|--|--|
|                   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015 (*)   |
| Foz               | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   |
| Gondarém          | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má   |
| Homem do Leme     | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água excelente para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má |
| Castelo do Queijo | <br>Água má para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má        | <br>Água aceitável para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água aceitável para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má | <br>Água boa para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má       | <br>Água boa para banhos<br>★★★★★ Excelente<br>★★★★★ Boa<br>★★★★★ Aceitável<br>★★★★★ Má       |

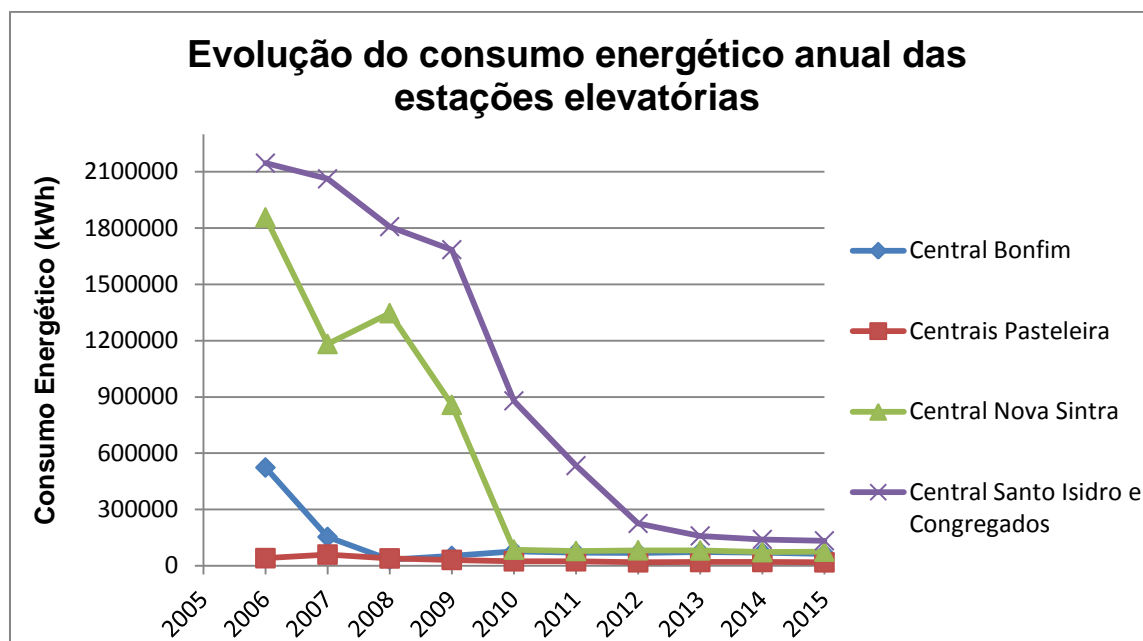
Figura 16 - Classificação da qualidade das águas balneares (Águas do Porto E.M., 2015)

Assim, na época balnear 2015, as praias da Foz, Gondarém, e Homem do Leme, obtiveram classificação “Excelente”, enquanto que a praia do Castelo do Queijo manteve a classificação de “Boa”, obtida pela primeira vez no ano de 2014 (Águas do Porto E.M., 2015).

### 3.3.7 Eficiência Energética e Energias Renováveis

A empresa tem vindo a adotar medidas que permitem poupanças energéticas e económicas. As duas ETAR são os maiores consumidores de energia elétrica, representando 93% do consumo global da empresa (Águas do Porto E.M., 2015).

Na Figura 17 está representada a evolução do consumo energético anual total das estações elevatórias da distribuição de água, onde se verifica o decréscimo acentuado no consumo, decorrente do Projeto Porto Gravítico, referido anteriormente.



**Figura 17** - Evolução do consumo energético anual das estações elevatórias de água

A ETAR de Sobreiras consome gás natural, sendo que em 2015 esse consumo atingiu 91.722 kWh e apresentou um custo anual de aquisição de 9.170 €. A nível de combustíveis utilizados, o maior consumo é efetuado pela frota de veículos, sendo que toda ela utiliza diesel. Em 2015 o consumo total da frota atingiu 119.088 L, mais concretamente 14.346 L por veículos ligeiros passageiros, 64.128 L por ligeiros de mercadorias e 40.614 L por pesados.

Um estudo realizado pelo Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI) permitiu concluir que as ETAR do Freixo e de Sobreiras, as centrais de Nova Sintra, da Pasteleira, do Bonfim e de Santo Isidro e o reservatório do Carvalhido apresentam potencial para instalar tecnologias de aproveitamento de energia solar e foi identificada a possibilidade de valorização de um vetor bioenergético (biogás) que é produzido na ETAR do Freixo (Águas do Porto E.M., 2015).



## 4 AVALIAÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA

### 4.1 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

#### 4.1.1 Definição de Objetivo e Âmbito

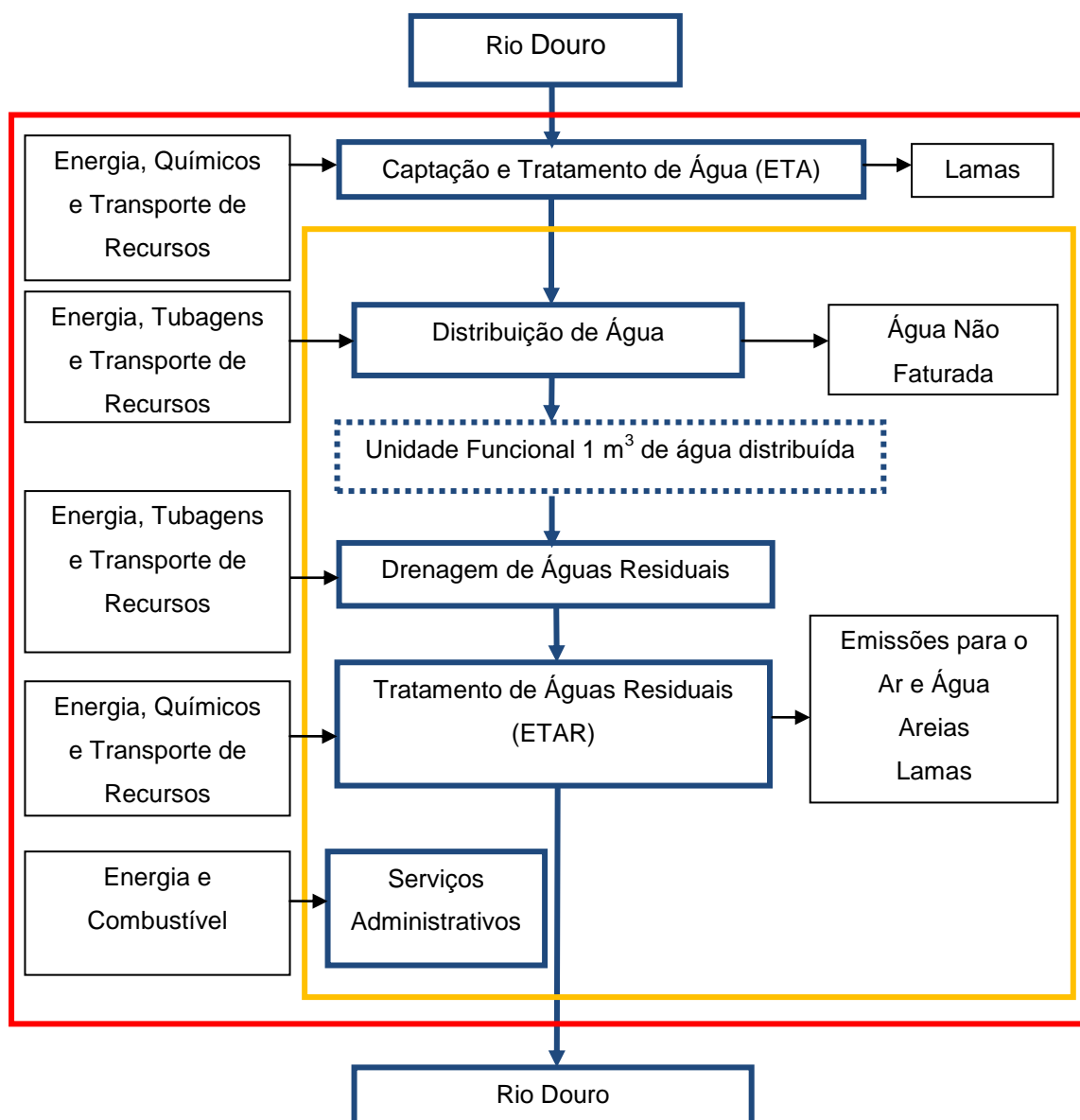
O objetivo principal da análise de ciclo de vida, apresentada neste capítulo, consiste em avaliar a componente ambiental necessária ao cálculo da ecoeficiência da Águas do Porto E.M., permitindo também identificar as etapas sobre as quais é mais importante atuar, sendo que serão utilizados dados referentes ao ano de 2015, fornecidos pela empresa. De forma a avaliar a evolução ao longo dos anos, será também realizado um histórico da evolução da ecoeficiência, desde 2006 a 2015, possibilitando assim a comparação dos resultados.

A unidade funcional considerada foi definida como o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável aos consumidores, uma vez que foi a unidade funcional normalmente utilizada na bibliografia consultada e por ser um volume de água facilmente relacionável com os dados de entrada e saída, servindo como uma boa base de referência. Por exemplo, o consumo elétrico por m<sup>3</sup> tratado ou o consumo de reagentes para tratar 1 m<sup>3</sup>.

De forma a avaliar a ecoeficiência devem ser consideradas as atividades de *Foreground*, referentes à ação direta das atividades realizadas pela empresa e as atividades de *Background*, associadas à produção de materiais e energia utilizados no processo. A abordagem utilizada para a avaliação de ciclo de vida é do tipo *cradle-to-grave*, contemplando as seguintes etapas fundamentais ao fornecimento e tratamento da água: Captação e Tratamento de Água na ETA, Distribuição, Drenagem de Águas Residuais, Tratamento das Águas Residuais nas ETAR e, por fim, os Serviços Administrativos. Esta última etapa engloba a sede da empresa e a frota de veículos que se deslocam entre os vários locais de intervenção. A descrição do ciclo urbano da água na cidade do Porto já foi realizada no subcapítulo 3.3.

Na Figura 18 é possível observar esquematicamente as etapas contempladas e as fronteiras do sistema. Relativamente às etapas de *Foreground*, representadas no interior da linha amarela, consistem na Distribuição, Drenagem de águas residuais, Tratamento das águas residuais nas ETAR e, por fim, os Serviços Administrativos. As etapas de *Background*, entre a linha amarela e vermelha, consistem na Captação e Tratamento da Água na ETA, realizado pela Águas do Norte S.A., assim como a produção de eletricidade, reagentes e combustíveis, o transporte dos recursos às instalações e o transporte de resíduos produzidos para as entidades competentes.

A linha a vermelho corresponde à fronteira do sistema, enquanto a amarela agrupa as atividades de *Foreground*.



**Figura 18** - Fronteira do Sistema Produtivo (a vermelho) e atividades de *Foreground* e *Background* (englobadas pela linha amarela)

Uma vez que se pretendem identificar etapas onde seja possível atuar e ainda efetuar uma análise ao longo dos anos, apenas foram incluídas informações referentes à operação e manutenção das infraestruturas, sendo excluída a sua construção. Segundo Amores *et al.*, (2013), os resultados de outros estudos permitem concluir que os impactes ambientais provenientes da construção e fim de vida das infraestruturas são muito menores comparativamente à fase de operação. O mesmo foi concluído pelo projeto AQUAENVEC (AQUAENVEC, 2015). No entanto, todos estes estudos consideram importante contabilizar a tubagem utilizada, porque estudos prévios indicam que apresentam impactes significativos aquando da sua produção. Assim, foi considerada a adição de tubagem à rede, tal como a reposição de condutas danificadas.



Ao nível do Tratamento das Águas Residuais Domésticas (ARD), foram considerados os impactos ambientais da deposição de inertes (areias de desarenamento) em aterro, bem como da aplicação de lamas das ETAR na agricultura, sendo que estas permitem substituir o uso de fertilizantes sintéticos.

Neste estudo, não foi incluído o uso da água pelos consumidores, ou seja, o consumo energético dos equipamentos de uso doméstico de aquecimento e utilização de água, uma vez que se pretendem estudar as etapas a nível empresarial.

Na Tabela 17, são apresentadas mais detalhadamente as etapas consideradas nas atividades de *Background* e *Foreground*.

**Tabela 17** - Etapas incluídas nas atividades de *Background* e *Foreground*

| Tipo de Atividade | Nome da etapa                        |
|-------------------|--------------------------------------|
| <i>Background</i> | Captação e Tratamento da Água (ETA)  |
|                   | Produção de Eletricidade             |
|                   | Produção de Combustíveis Fósseis     |
|                   | Produção de Gás Natural              |
|                   | Produção de Tubagens                 |
|                   | Produção de Reagentes                |
|                   | Transporte de Recursos               |
| <i>Foreground</i> | Distribuição de Água                 |
|                   | Drenagem de Águas Residuais          |
|                   | Tratamento de Águas Residuais (ETAR) |
|                   | Serviços Administrativos             |

#### 4.1.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Neste subcapítulo são compilados os dados referentes às entradas (energia e recursos) e saídas (emissões e resíduos) de cada etapa considerada, no ano de 2015.

Sendo a unidade funcional o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água, é importante conhecer todos os valores associados à entrada, saída e perdas de água, estando apresentados na Tabela 18 os dados relativos à Distribuição de Água e à Drenagem das Águas Residuais. A ETA de Lever trata um total de 94.496.896 m<sup>3</sup>, sendo que deste total, 20.814.248 m<sup>3</sup> (22%) são adquiridos pela Águas do Porto E.M. Assume-se que toda a água que entra nas ETAR do Freixo e de Sobreiras é tratada e tem como destino final o Rio Douro.

**Tabela 18** – Dados relativos à Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais

| Distribuição                        |            | Drenagem                                 |            |
|-------------------------------------|------------|--|------------|
| Aquisição de Água (m <sup>3</sup> ) | 20.814.248 | Água ETAR Freixo (m <sup>3</sup> )       | 5.913.486  |
| Água faturada (m <sup>3</sup> )     | 16.603.906 | Água ETAR Freixo (%)                     | 33,6       |
| Água faturada (%)                   | 79,8       | Água ETAR Sobreiras (m <sup>3</sup> )    | 11.702.080 |
| Água não faturada (m <sup>3</sup> ) | 4.210.342  | Água ETAR Sobreiras (%)                  | 66,4       |
| Água não faturada (%)               | 20,2       | Águas Residuais Totais (m <sup>3</sup> ) | 17.615.566 |

Na Tabela 19 apresentam-se os dados recolhidos em cada etapa mencionada na Figura 18, sendo igualmente apresentadas as respetivas unidades. No inventário, todos os dados são reportados à unidade funcional, ou seja, apresentam valores por m<sup>3</sup> de água distribuída. Foram considerados todos os transportes referentes a reagentes e materiais necessários, bem como dos resíduos gerados nas ETAR (gradados, areias e lamas).

**Tabela 19 – Inventário considerado em de cada etapa**

| Etapa                               | Entrada (Unidade /UF)   | Saída (Unidade /UF)  |
|-------------------------------------|---|--|
| Captação e Tratamento de Água (ETA) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água captada (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Eletricidade (kWh)</li> <li>• Sulfato de Alumínio (kg)</li> <li>• Cal viva (kg)</li> <li>• Cloro (kg)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água tratada (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Lamas (kg)</li> </ul>   |
| Distribuição de Água                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água tratada (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Eletricidade (kWh)</li> <li>• Tubagem (kg)</li> <li>• Gasolina (kg)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Água não faturada (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Água Faturada (m<sup>3</sup>)</li> </ul>   |
| Drenagem de Águas Residuais         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas residuais (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Eletricidade (kWh)</li> <li>• Tubagem (kg)</li> <li>• Diesel (kg)</li> <li>• Gasolina (kg)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas residuais (m<sup>3</sup>)</li> </ul>  |
| Tratamento de Água Residuais        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas residuais (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Eletricidade (kWh)</li> <li>• Polímeros (kg)</li> <li>• Cal Viva (kg)</li> <li>• Gás Natural (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Hipoclorito de Sódio (kg)</li> <li>• Hidróxido de Sódio (kg)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas residuais tratadas (m<sup>3</sup>)</li> <li>• Emissões das águas residuais tratadas (kg)</li> <li>• Resíduos de desarenamento (kg)</li> <li>• Emissões para o ar (kg)</li> <li>• N e P contidos nas lamas para solos agrícolas (kg)</li> <li>• Metais Pesados para a água (kg)</li> </ul> |
| Serviços Administrativos            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eletricidade (kWh)</li> <li>• Diesel (kg)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissões para o ar (kg)</li> </ul>  |

#### 4.1.2.1 Captação e Estação de Tratamento de Água (ETA)

A análise é iniciada pelas etapas de Captação e Tratamento da Água para abastecimento, realizadas pela Águas do Norte S.A., que foram analisadas em conjunto, como uma única etapa.

Através do relatório de contas (2014) e do relatório de sustentabilidade (2013) da Águas do Norte S.A., foram recolhidos os dados relativos à água captada e distribuída, à eletricidade consumida e às lamas produzidas. Nestes relatórios é apresentado um valor global de uso de produtos no tratamento da água, mais concretamente de 1.969 toneladas de reagentes, porém, não foi possível dividir este total pelos vários produtos utilizados (Águas do Douro e Paiva S.A., 2014).

De forma a realizar uma estimativa realista, foi consultado especialmente o Professor Doutor Cheng, da FEUP, que forneceu alguns valores passíveis de serem utilizados, relativamente a uso de cloro (desinfecção), de cal viva (higienização de lamas) e de sulfato de alumínio (coagulante).

A dosagem do coagulante Sulfato de Alumínio pode ser associada com a turvação da água, a qual pode ser convertida para Sólidos Suspensos Totais (SST). Assim, para uma certa turvação da água bruta e o volume diário de água tratada, pode-se estimar o consumo de coagulante, tal como apresentado na Tabela 20. Foi consultado o Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), de forma a obter o valor de SST do Rio Douro. Para isso, selecionou-se a estação ALB. CRESTUMA-LEVER (AdDP), de código 07G/07C, na bacia do Douro e da rede de qualidade, tendo sido encontrados dados relativos a 2013 e 2014 (SNIRH, 2016). Calculando a média desses valores, obteve-se uma concentração de SST de 8,8 mg/L. Desta forma, por interpolação, obtém-se uma dosagem de sulfato de alumínio de 11,9 mg/L.

**Tabela 20 - Dosagem de Sulfato de Alumínio**

| Turvação (NTU) | SST (mg/L) | Dosagem de Sulfato de alumínio (mg/L) | Produção de lamas (kg/d) |
|----------------|------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 0,5            | 5          | 10                                    | 663                      |
| 2              | 7          | 11                                    | 940                      |
| 5              | 11         | 13                                    | 1493                     |
| 7,5            | 14         | 14                                    | 1953                     |
| 10             | 18         | 15                                    | 2414                     |

Relativamente ao cloro, foi utilizado um valor de 5 mg/L e de 54 mg/L para a cal viva.

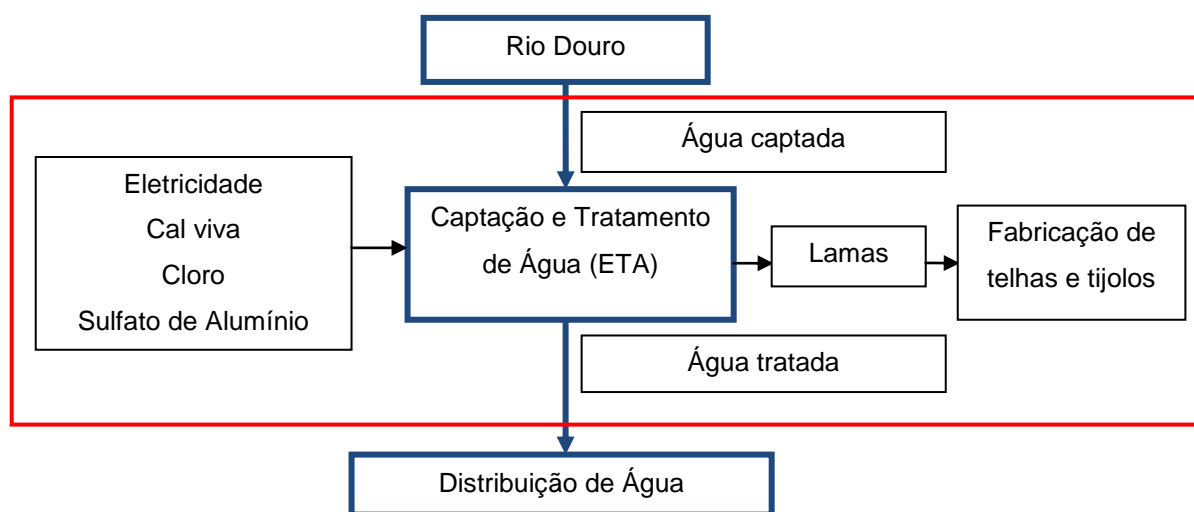
Quanto a saídas, para além da água tratada, foi contemplada a formação de lamas, que até 2006 eram encaminhadas para aterro, mas que a partir do início desse ano passaram a ser utilizadas na fabricação de telhas e tijolos (Águas do Douro e Paiva S.A., 2008).

Dividindo os 20.814.248 m<sup>3</sup> de água adquiridos pela Águas do Porto E.M., pela unidade funcional, ou seja, os 16.603.906 m<sup>3</sup>, obtém-se 1,25 m<sup>3</sup>/UF. De forma a manter uma coerência na apresentação dos resultados em toda a dissertação, estes são apresentados em notação científica. Ou seja, no caso da água captada, é apresentado o valor 1,25E+00 m<sup>3</sup>/UF na Tabela 21.

Para além da Águas do Porto E.M., a Águas do Norte S.A. fornece também água a outras entidades, pelo que foi efetuada uma alocação baseada no volume de água fornecido e considerado que o consumo específico de eletricidade, por m<sup>3</sup> de água, é o mesmo para todas as cidades abastecidas. Em 2014, esta empresa apresentou um consumo elétrico total de 101 GWh, sendo que o Complexo de Lever corresponde a 63% do consumo total e o reservatório de Jovim cerca de 12%, pelo que 75% dos 101 GWh são contabilizados no estudo (Águas do Douro e Paiva S.A., 2014).

Uma vez que foram consumidos 75.750.000 kWh e tratados 94.496.896 m<sup>3</sup> de água pela Águas do Norte S.A., obtém-se um consumo 0,802 kWh/m<sup>3</sup> de água tratada. Como em 2015 foram adquiridos 20.814.248 m<sup>3</sup> pela Águas do Porto E.M., estima-se que foram consumidos 16.684.985 kWh para tratar esta água. Dividindo este consumo pela unidade funcional, ou seja, os 16.603.906 m<sup>3</sup> de água distribuída, obtém-se cerca de 1,00E+00 kWh/UF.

Na Figura 19 é apresentado um esquema evidenciando as entradas e saídas consideradas nesta etapa.



**Figura 19** - Entradas e saídas de recursos na etapa de Captação e Tratamento de Água

Foram obtidos os valores apresentados na Tabela 21 e Tabela 22, relativas às entradas e saídas de recursos, respetivamente.

**Tabela 21** - Entradas de recursos na etapa de Captação e Tratamento de Água

| Tipo de Entrada | Inventário   | Quantidade/UF | Unidade        |
|-----------------|--|---------------|----------------|
| Água            | Água captada   | 1,25E+00      | m <sup>3</sup> |
| Energia         | Eletricidade Média Tensão  | 1,00E+00      | kWh            |
| Reagentes       | Cal viva (CaO)   | 6,77E-02      | kg             |
|                 | Cloro (Cl <sub>2</sub> )   | 6,27E-03      | kg             |
|                 | Sulfato de Alumínio (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) | 1,46E-02      | kg             |

**Tabela 22** – Saídas de recursos na etapa de Captação e Tratamento de Água

| Tipo de Saída | Inventário          | Quantidade/UF | Unidade        |
|---------------|---------------------|---------------|----------------|
| Água          | Água à saída da ETA | 1,25E+00      | m <sup>3</sup> |
| Resíduos      | Lamas               | 4,82E-02      | kg             |

#### 4.1.2.2 Distribuição de Água

Apenas uma parte da água captada pela Águas do Norte e tratada na ETA de Lever é adquirida pela Águas do Porto E.M., sendo que em 2015 a água adquirida representou 22% da água tratada na ETA de Lever.

A acessibilidade física ao serviço de abastecimento de água na cidade do Porto situa-se nos 100%, existindo uma adesão total ao serviço, tendo sido servidos 152.542 clientes em 2015.

Desde a implementação do Projeto Porto Gravítico (2006-2012), apenas se encontra em funcionamento a estação elevatória associada ao reservatório dos Congregados, utilizado para abastecer a zona da cidade de cota mais elevada.

Assim, nesta etapa foi considerada a eletricidade utilizada nos reservatórios, por exemplo para iluminação e geradores, tal como a eletricidade consumida na estação elevatória dos Congregados, o consumo de gasolina de alguns equipamentos (geradores) e, por fim, a tubagem utilizada.

Relativamente à tubagem, estão representadas na Tabela 23 as condutas de abastecimento de água executadas em 2015. Como se pode observar, são utilizados essencialmente tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Ferro Fundido Dúctil (FFD) na rede de abastecimento de água, sendo utilizados com maior frequência diâmetros de 110 mm e 100 mm, respetivamente. Foram consultados catálogos da tubagem disponível no mercado, de forma a obter os pesos lineares de cada um, tendo sido obtidos, para os diâmetros mencionados, 2,63 kg/m (Politejo, 2015) para o PEAD e 15,9 kg/m (Saint-Gobain, 2008) para o FFD.

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) define que uma boa qualidade do serviço de reabilitação das condutas se encontra entre 1 - 4% da extensão da rede. Como o valor médio dos últimos 5 anos se encontra em 2,1%/ano, verifica-se uma boa qualidade do serviço (ERSAR, 2015a).

Se o ritmo de substituição de condutas se mantiver, a rede de distribuição tem um período de vida útil de cerca de 94 anos.

**Tabela 23** - Condutas de abastecimento de água executadas em 2015

| Condutas de abastecimento de água executadas | Metros Lineares | %    |
|--|-----------------|------|
| PEAD   | 5.728           | 68,5 |
| FFD  | 2.639           | 31,5 |
| Total  | 8.366           | 100  |

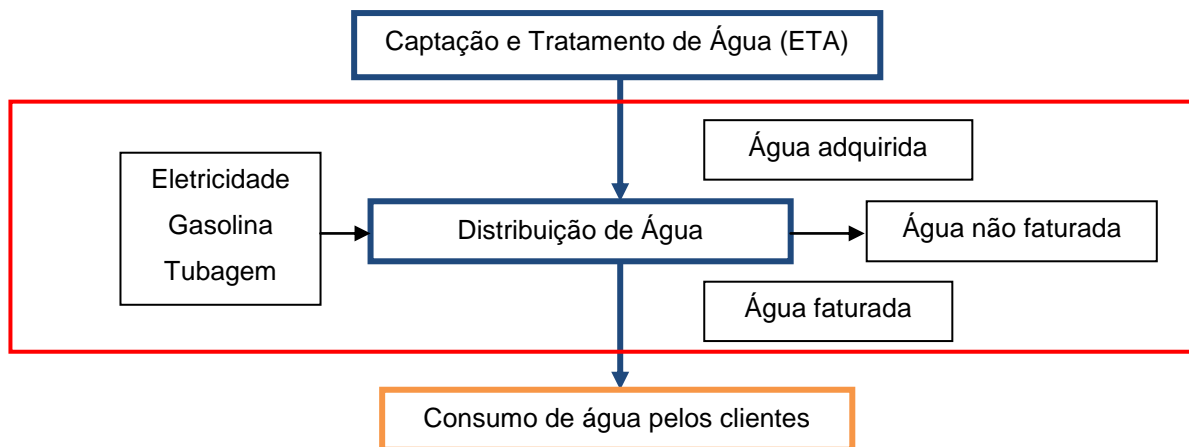
Na distribuição de água é natural verificarem-se perdas de água causadas, por exemplo, por roturas nas condutas devido à sua antiguidade, desgaste e à pressão a que estão sujeitas. Assim, uma vez que foram adquiridos 20.814.248 m<sup>3</sup> e apenas faturados 16.603.906 m<sup>3</sup>, obtém-se um total de 4.210.342 m<sup>3</sup> não faturada, correspondendo a 20,2% do total adquirido. Desta forma, para fornecer 1 m<sup>3</sup> de água ao consumidor, é necessário adquirir 1,254 m<sup>3</sup>, o que corresponde a um fator de incremento de 25%.

Nesta etapa verifica-se o consumo de eletricidade de média e baixa tensão. A média tensão, corresponde ao consumo elétrico por parte das centrais do Bonfim, Pasteleira, Nova Sintra, Santo Isidro e Congregados. Mais uma vez, realça-se que apenas a estação elevatória associada ao reservatório dos Congregados está em funcionamento. Na baixa tensão está incluído o reservatório do Carvalhido, assim como outros equipamentos elétricos, tais como geradores e iluminação. Na Tabela 24 é apresentado o consumo elétrico anual em média tensão, em kWh, de cada central, tendo sido obtido um consumo total de 291.105 kWh, em 2015. Relativamente à baixa tensão, foi obtido o valor de 20.055 kWh.

**Tabela 24** - Consumo elétrico anual em média tensão pelas centrais em 2015 (kWh)

| Central Bonfim | Central Pasteleira | Central Nova Sintra | Central Santo Isidro e Congregados | Total Centrais (kWh) |
|----------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------|
| 63.656         | 18.530             | 75.526              | 133.393                            | 291.105              |

Na Figura 20 é apresentado um esquema evidenciando as entradas e saídas abordadas nesta etapa.



**Figura 20** - Entradas e saídas de recursos na etapa de distribuição de água

As emissões de CO<sub>2</sub> e outros compostos decorrentes do uso de energia elétrica, assim como as suas consequências ambientais, são contemplados na produção de eletricidade, razão pela qual não são apresentadas como uma saída desta etapa.

Na Tabela 25 e Tabela 26 é apresentado o inventário referente a esta etapa, evidenciando as entradas e saídas consideradas, respetivamente.

**Tabela 25** - Entradas de recursos na etapa Distribuição de Água

| Tipo de Entrada | Inventário                | Quantidade/UF | Unidade        |
|-----------------|---------------------------|---------------|----------------|
| Água            | Água distribuída          | 1,25E+00      | m <sup>3</sup> |
| Energias        | Eletricidade Média Tensão | 1,75E-02      | kWh            |
|                 | Eletricidade Baixa Tensão | 1,21E-03      | kWh            |
| Combustíveis    | Gasolina                  | 1,92E-04      | kg             |
| Tubagem         | PEAD                      | 9,07E-04      | kg             |
|                 | FFD                       | 2,53E-03      | kg             |

**Tabela 26** - Saídas de recursos na etapa Distribuição de Água

| Tipo de Saída | Inventário        | Quantidade/UF | Unidade        |
|---------------|-------------------|---------------|----------------|
| Água          | Água não faturada | 2,54E-01      | m <sup>3</sup> |
|               | Água faturada     | 1,00E+00      | m <sup>3</sup> |

Na Tabela 27 é apresentada, para cada tipo de tubagem, a localidade e a distância da sede da empresa dos fornecedores à sede da Águas do Porto E.M., bem como a quantidade de tubagem em ton/UF e em tonelada-quilómetro tkm/UF. De notar que a tubagem é comprada pelos empreiteiros e posteriormente levada para cada obra específica, pelo que não possível determinar em concreto os locais onde cada tipo de tubagem foi aplicado. De modo a simplificar a análise, é considerado o transporte entre a sede do fornecedor e a sede da Águas do Porto E.M. Para todos os transportes no

presente trabalho, quer de reagentes e materiais, quer de resíduos gerados, será admitido que estes se realizam através de um camião de capacidade entre 16 e 32 toneladas.

**Tabela 27** - Fornecedor e distância à empresa, para cada tipo de tubagem

|      | Localidade    | Distância à Águas do Porto E.M. (km) | Quantidade (ton/UF) | Quantidade (tkm/UF) |
|------|---------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| PEAD | Azambuja      | 263                                  | 9,07E-07            | 2,39E-04            |
| FFD  | Vila do Conde | 28                                   | 2,53E-06            | 7,08E-05            |

#### 4.1.2.3 Drenagem de Águas Residuais

Segundo os dados da Águas do Porto E.M., a acessibilidade física ao serviço situa-se nos 99,18%, existindo uma adesão ao serviço de 98,09% (valores de 31 de dezembro de 2015).

De modo semelhante à etapa de Distribuição, nesta fase serão considerados o consumo de eletricidade e tubagem executada, assim como combustíveis por alguns equipamentos (geradores).

Relativamente à tubagem, estão especificados na Tabela 28 os coletores de águas residuais domésticas executados em 2015. Verifica-se que são utilizados principalmente Grés e Ferro Fundido Dúctil, com percentagens de 61,7% e 34,9%, respetivamente.

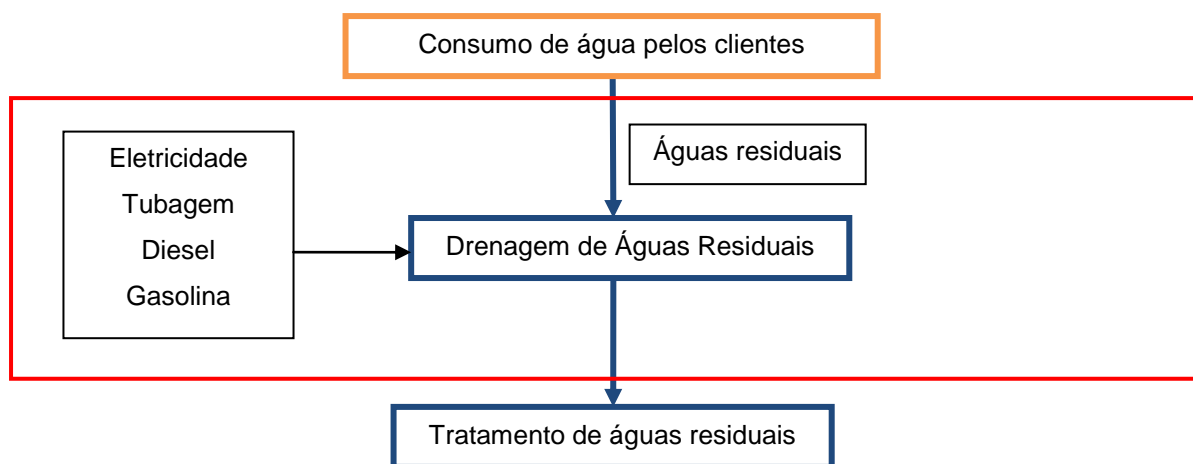
Uma vez que o Polipropileno, Policloreto de Polivinila (PVC) e PEAD representam no total apenas 3,4%, será somente considerada a utilização de Grés e Ferro Fundido Dúctil (FFD), por serem os mais representativos, correspondendo a 4.757 metros lineares. Contudo, de forma a não excluir estes 3,4%, serão repartidos equitativamente pelos dois tipos de tubagem considerados.

Geralmente, o diâmetro utilizado nos dois tipos de tubagens é de 200 mm, sendo que, tal como realizado na etapa de Distribuição, foram consultados catálogos, de forma a determinar os pesos lineares. Assim, para o grés obteve-se 37 kg/m (Steinzeug-Keramo, 2013) e para o FFD 30,8 kg/m (Saint-Gobain, 2008).

**Tabela 28** - Condutas de águas residuais domésticas executadas em 2015

| Condutas de águas residuais domésticas Executadas | Metros Lineares | %    |
|---|-----------------|------|
| Grés  | 3.039           | 61,7 |
| FFD   | 1.718           | 34,9 |
| Polipropileno                                     | 132             | 2,7  |
| PVC   | 30              | 0,6  |
| PEAD  | 7               | 0,1  |
| Total   | 4.927           | 100  |

Na Figura 21 são apresentadas as entradas e saídas consideradas na etapa de Drenagem de Águas Residuais.



**Figura 21** - Entradas e saídas de recursos na etapa de drenagem de águas residuais

Não foram consideradas emissões de  $\text{CH}_4$  nem de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera, devido a processos de degradação da matéria orgânica que possam ocorrer na Drenagem, uma vez que os estudos analisados referem que as águas residuais na Drenagem não são uma fonte relevante destes gases. Isto é mencionado, por exemplo, por Lemos *et al.*, (2013).

Na Tabela 29 e Tabela 30 é apresentada a análise de inventário referente a esta etapa, evidenciando as entradas e saídas consideradas, respetivamente. Relativamente à água residual, corresponde à que é encaminhada posteriormente para as ETAR do Freixo e de Sobreiras.

**Tabela 29** – Entradas de recursos na etapa de Drenagem de Águas Residuais

| Tipo de Entrada | Inventário                | Quantidade/UF | Unidade        |
|-----------------|---------------------------|---------------|----------------|
| Água            | Água residual             | 9,30E-01      | m <sup>3</sup> |
| Energia         | Eletricidade Baixa Tensão | 6,47E-03      | kWh            |
| Combustíveis    | Diesel                    | 3,14E-05      | kg             |
|                 | Gasolina                  | 2,00E-05      | kg             |
| Tubagem         | Grés                      | 6,96E-03      | Kg             |
|                 | FFD                       | 3,34E-03      | kg             |

**Tabela 30** – Saídas de recursos na etapa de Drenagem de Águas Residuais

| Tipo de Saída | Inventário                    | Quantidade/UF | Unidade        |
|---------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| Água          | Água residual total para ETAR | 9,30E-01      | m <sup>3</sup> |
|               | Água residual ETAR Sobreiras  | 7,05E-01      | m <sup>3</sup> |
|               | Água residual ETAR Freixo     | 2,25E-01      | m <sup>3</sup> |

Na Tabela 31 é apresentada, para cada tipo de tubagem, a localidade do fornecedor e a distância à Águas do Porto E.M. Tal como na etapa de Distribuição, é realizada uma estimativa, considerando que o transporte seria realizado até à sede da empresa, num camião de 16 a 32 toneladas.



**Tabela 31** - Fornecedor e distância à empresa, para cada tipo de tubagem

|      | Localidade    | Distância à Águas do Porto E.M. (km) | Quantidade (ton/UF) | Quantidade (tkm/UF) |
|------|---------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Grés | Lisboa        | 309                                  | 6,96E-06            | 2,15E-03            |
| FFD  | Vila do Conde | 28                                   | 3,34E-06            | 9,36E-05            |

#### 4.1.2.4 Tratamento de Água Residual

Os coletores gerais/interceptores transportam as águas residuais recolhidas para a ETAR do Freixo e ETAR de Sobreiras. Em termos de recolha de inventário, esta é a etapa mais complexa.

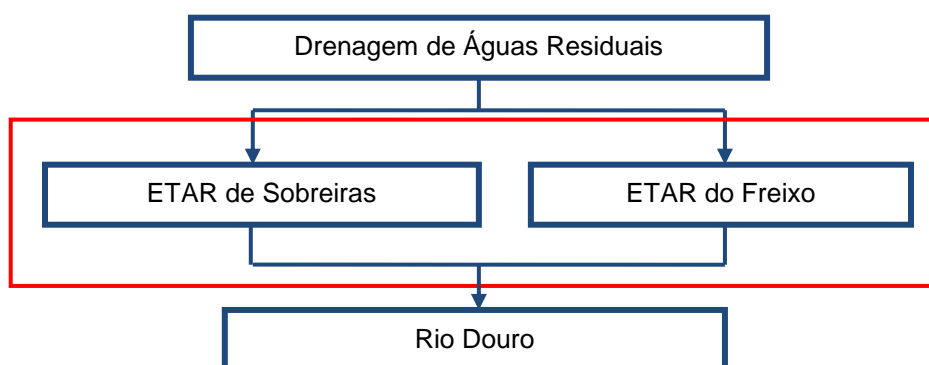
Relativamente a entradas, foi contemplado o consumo de eletricidade e reagentes químicos em cada ETAR, assim como o uso de gás natural por parte da ETAR de Sobreiras. Os reagentes correspondem aos polímeros para desidratação das lamas, cal viva para estabilização química das lamas e, por fim, hipoclorito de sódio, hidróxido de sódio e ácido sulfúrico, no tratamento de odores.

Nas saídas incluem-se as lamas resultantes do tratamento, os resíduos inertes (areias) encaminhados para aterro, as emissões das caldeiras que utilizam biogás (na ETAR do Freixo) e, por fim, algumas características químicas da água rejeitada que é devolvida ao meio recetor, mais concretamente, metais pesados, azoto total e fósforo total. As emissões para a água e ar apresentadas são referentes ao ano de 2014.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) exige às entidades gestoras das ETAR o controlo integrado da poluição, assim como o reporte das emissões, pelo que foram utilizados os dados declarados no cálculo da ecoeficiência. Mais concretamente, são reportadas as emissões para o ar, solo e água, assim como a quantidade de resíduos produzidos.

Devido à aplicação das lamas, foram contabilizadas também as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ . Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a aplicação das lamas emite cerca de 1% do seu conteúdo de azoto na forma de  $N_2O$  (IPCC, 2006). Segundo Hobson (2000), são libertados 5 kg  $CH_4$ /ton matéria seca (Hobson, 2000).

Cada ETAR foi analisada separadamente, tal como representado na Figura 22, sendo que os impactos ambientais serão posteriormente somados para obter o total da etapa de Tratamento da Água Residual.

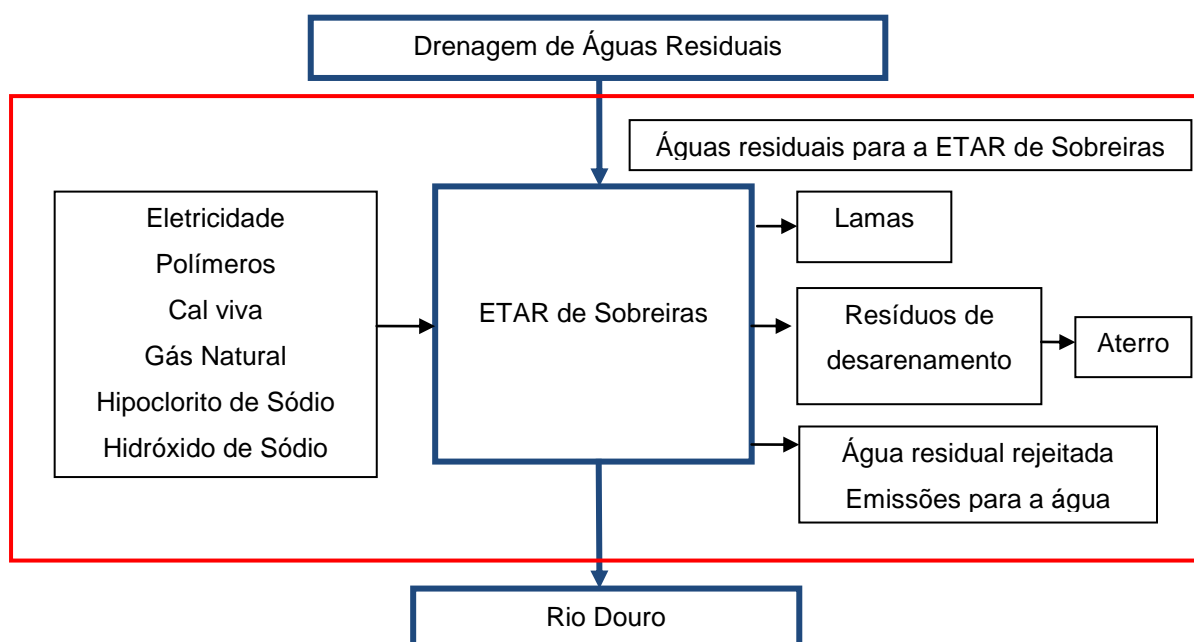
**Figura 22** – Análise de cada ETAR na etapa de Tratamento da Água Residual em cada ETAR

#### 4.1.2.4.1 ETAR de Sobreiras

A ETAR de Sobreiras recebeu, em 2015, 11.702.080 m<sup>3</sup> de água (66,4% das águas residuais totais), apresentando um consumo de energia elétrica de 10.599.894 kWh (72,3% da eletricidade consumida nas ETAR). Esta ETAR consome gás natural, sendo que em 2015 esse consumo atingiu 5.610 m<sup>3</sup>, correspondendo a 91.722 kWh.

Nesta ETAR, em 2015, foram utilizados 2 tipos de polímeros, com quantidades de 57.500 kg e 12.000 kg, totalizando assim 69.500 kg de polímeros. Quanto a reagentes, apenas são utilizados na desodorização, sendo que nesta ETAR são utilizados 38.500 kg de soda cáustica a 30% (hidróxido de sódio) e 406.560 kg de hipoclorito de sódio 12 – 14%. Desde 2009 que esta ETAR não utiliza ácido sulfúrico no tratamento de odores, uma vez que não há necessidade de adicioná-lo para realizar a lavagem ácida, visto que o ar já possui acidez suficiente. Normalmente são usadas cerca de 30 ton/mês de cal nesta ETAR, correspondendo a um total de 360.000 kg/ano.

Na Figura 23 é apresentado um esquema evidenciando as entradas e saídas abordadas.



**Figura 23** - Entradas e saídas de recursos na ETAR de Sobreiras

Na Tabela 32 encontram-se apresentadas entradas por unidade funcional consideradas para a ETAR de Sobreiras.

**Tabela 32** - Entradas de recursos na ETAR de Sobreiras

| Tipo de Entrada    | Inventário                   | Quantidade/UF | Unidade        |
|--------------------|------------------------------|---------------|----------------|
| Água               | Água residual ETAR Sobreiras | 7,05E-01      | m <sup>3</sup> |
| Energias           | Eletricidade Média Tensão    | 6,38E-01      | kWh            |
|                    | Gás Natural                  | 3,38E-04      | m <sup>3</sup> |
| Reagentes/Químicos | Polímeros                    | 4,19E-03      | kg             |
|                    | Hipoclorito de Sódio (NaClO) | 2,45E-02      | kg             |
|                    | Hidróxido de Sódio (NaOH)    | 2,32E-03      | kg             |
|                    | Cal viva (CaO)               | 2,17E-03      | kg             |

À semelhança do descrito nas etapas anteriores, relativamente aos transportes dos reagentes, são apresentadas na Tabela 33 a localidade do fornecedor e a respetiva distância à ETAR de Sobreiras.

**Tabela 33** - Transporte dos reagentes desde os fornecedores até à ETAR de Sobreiras

|                              | Localidade  | Distância à ETAR de Sobreiras (km) | Quantidade/UF | Unidade |
|------------------------------|-------------|------------------------------------|---------------|---------|
| Polímeros                    | Porto       | 14,6                               | 6,11E-05      | tkm     |
| Hipoclorito de Sódio (NaClO) | Santo Tirso | 34,2                               | 8,37E-04      | tkm     |
| Hidróxido de Sódio (NaOH)    |             |                                    | 7,93E-05      | tkm     |
| Cal viva (CaO)               |             |                                    | 7,42E-04      | tkm     |

A água enviada para o meio recetor é sujeita à monitorização da sua qualidade, que inclui, por exemplo, os metais pesados, azoto total, fósforo total, CQO e CBO<sub>5</sub>. Na Tabela 34, são apresentadas as emissões totais para a água, assim como a quantidade de água residual tratada.

**Tabela 34** - Água residual tratada e emissões para a água na ETAR de Sobreiras

| Tipo de Saída        | Inventário  | Quantidade/UF | Unidade        |
|----------------------|---|---------------|----------------|
| Água                 | Água residual tratada                               | 7,05E-01      | m <sup>3</sup> |
| Emissões para a água | Arsénio e seus compostos (As)                       | 1,69E-06      | kg             |
|                      | Crómio e seus compostos (Cr)                        | 1,20E-07      | kg             |
|                      | Cobre e seus compostos (Cu)                         | 5,12E-06      | kg             |
|                      | Mercúrio e seus compostos (Hg)                      | 1,81E-07      | kg             |
|                      | Níquel e seus compostos (Ni)                        | 6,62E-07      | kg             |
|                      | Zinco e seus compostos (Zn)                         | 3,20E-05      | kg             |
|                      | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | 6,81E-08      | kg             |
|                      | Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )            | 9,58E-07      | kg             |
|                      | Carbono Orgânico Total (COT)                        | 1,06E-02      | kg             |
|                      | Cloretos  | 1,08E-01      | kg             |
|                      | Fluoretos   | 2,93E-04      | kg             |
|                      | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | 3,43E-08      | kg             |
|                      | Triclorometano (CHCl <sub>3</sub> )                 | 2,18E-07      | kg             |
|                      | Fósforo Total (P Total)                             | 1,24E-03      | kg             |
|                      | Azoto Total (N Total)                               | 6,27E-03      | kg             |
|                      | CQO   | 2,97E-09      | kg             |
|                      | CBO <sub>5</sub>                                    | 7,11E-10      | kg             |

Do tratamento realizado nas ETAR são produzidas lamas, gradados e areias, que são enviados para destino final devidamente licenciado, cumprindo a legislação vigente nesta matéria. Na Tabela 35, estão representadas as quantidades produzidas em 2015, na ETAR de Sobreiras e o código de

operação a que são sujeitas, sendo de seguida explicado o significado de cada um (Decreto-Lei n.º 73/2011):

D 1 — Depósito no solo, em profundidade ou à superfície (por exemplo, em aterros)

R 3 — Reciclagem/recuperação de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes (incluindo digestão anaeróbia, compostagem e outros processos de transformação biológica)

R 10 — Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental.

R 13 — Armazenamento de resíduos destinados a uma das operações enumeradas de R 1 a R 12

**Tabela 35** - Gradados, areias e lamas gerados na ETAR de Sobreiras no ano de 2015

|          | Sobreiras  |                    | Quantidade/UF | Unidade |
|----------|------------|--------------------|---------------|---------|
|          | kg         | Código de operação |               |         |
| Gradados | 301.180    | D1                 | 1,81E-02      | kg      |
| Areias   | 145.880    | D1                 | 8,79E-03      | kg      |
|          | 132.000    | R13                | 7,95E-03      | kg      |
| Lamas    | 11.111.380 | R3                 | 6,69E-01      | kg      |

Relativamente a transportes dos resíduos gerados, são apresentadas na Tabela 36 as localidades das sedes do operador de gestão que recebe o resíduo e a sua distância até à ETAR:

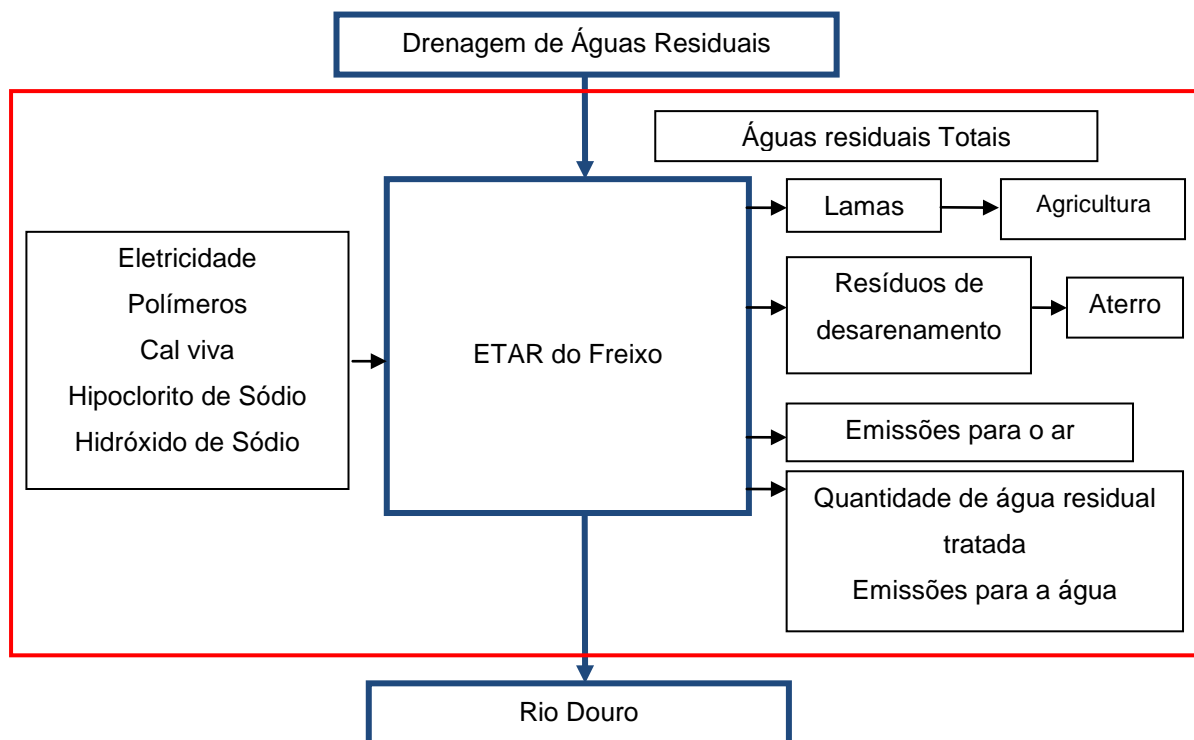
**Tabela 36** - Transporte dos resíduos da ETAR de Sobreiras

|          | Localidade | Distância à ETAR de Sobreiras (km) | Quantidade/UF | Unidade |
|----------|------------|------------------------------------|---------------|---------|
| Gradados | Porto      | 45,6                               | 8,27E-04      | tkm     |
| Areias   | Braga      | 63                                 | 1,05E-03      | tkm     |
| Lamas    | Porto      | 41                                 | 2,74E-02      | tkm     |

#### 4.1.2.4.2 ETAR do Freixo

A ETAR do Freixo recebeu, em 2015, 5.913.486 m<sup>3</sup> de água (33,6% das águas residuais totais), apresentando um consumo de energia elétrica de 4.060.282 kWh (27,7% do consumo elétrico das ETAR). Porém, esta ETAR também trata efluente proveniente de Gondomar, mais concretamente do intercetor do Rio Torto. Desta forma, apenas foi contabilizado o caudal proveniente do Porto, pelo que todos os dados de inventário aqui apresentados são referentes a esse caudal. A ETAR do Freixo tratou um caudal total de 5.913.486 m<sup>3</sup>, sendo que 36,9 % são provenientes do intercetor do Rio Torto (2.181.895 m<sup>3</sup>) e 63,1 % são provenientes do Porto (3.731.591 m<sup>3</sup>). Em 2015 verificou-se um consumo elétrico total de 4.060.282 kWh para tratar 5.913.486 m<sup>3</sup>, o que corresponde a 0,687 kWh/m<sup>3</sup>. Assim, multiplicando este valor pelo caudal proveniente do Porto, ou seja, 3.731.591 m<sup>3</sup>, é possível estimar um consumo elétrico de 2.562.162 kWh. Este raciocínio foi aplicado a todo o inventário desta ETAR.

Na Figura 24 é apresentado um esquema evidenciando as entradas e saídas abordadas nesta ETAR.



**Figura 24** - Entradas e saídas de recursos na ETAR do Freixo

Na Tabela 37 são especificadas as entradas por unidade funcional consideradas na ETAR do Freixo.

**Tabela 37** - Entradas de recursos na ETAR do Freixo

| Tipo de Entrada    | Inventário   | Quantidade/UF | Unidade        |
|--------------------|--|---------------|----------------|
| Água               | Água residual ETAR Freixo  | 2,25E-01      | m <sup>3</sup> |
| Energia            | Eletricidade Média Tensão  | 1,54E-01      | kWh            |
| Reagentes/Químicos | Polímeros  | 1,67E-03      | kg             |
|                    | Hipoclorito de Sódio (NaClO)                                       | 4,34E-03      | kg             |
|                    | Hidróxido de Sódio (NaOH)  | 4,34E-04      | kg             |
|                    | Cal viva (CaO)   | 4,34E-03      | kg             |
|                    | Ácido Sulfúrico (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) | 6,50E-05      | kg             |

Relativamente aos reagentes, está apresentado na Tabela 38 a localidade do fornecedor e a respetiva distância à ETAR do Freixo.

**Tabela 38** - Transporte dos reagentes até à ETAR do Freixo

|  | Localidade | Distância à ETAR do Freixo (km) | Quantidade/UF | Unidade |
|--|------------|---------------------------------|---------------|---------|
| Polímeros  | Matosinhos | 15,4                            | 2,58E-05      | tkm     |
| Hipoclorito de Sódio (NaClO)                                       | Santarém   | 244                             | 1,06E-03      | tkm     |
| Hidróxido de Sódio (NaOH)  |            |                                 | 1,06E-04      | tkm     |
| Cal viva (CaO)   |            |                                 | 1,06E-03      | tkm     |
| Ácido Sulfúrico (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) |            |                                 | 1,59E-05      | tkm     |

Na Tabela 39 estão apresentadas as emissões totais para a água, assim como a quantidade de água tratada.

**Tabela 39** - Água residual tratada e emissões para a água na ETAR do Freixo

| Tipo de Saída        | Inventário  | Quantidade/UF | Unidade        |
|----------------------|---|---------------|----------------|
| Água                 | Água residual tratada                               | 2,25E-01      | m <sup>3</sup> |
| Emissões para a água | Arsénio e seus compostos (As)                       | 7,68E-07      | kg             |
|                      | Cobre e seus compostos (Cu)                         | 3,07E-06      | kg             |
|                      | Mercúrio e seus compostos (Hg)                      | 6,08E-08      | kg             |
|                      | Níquel e seus compostos (Ni)                        | 2,55E-05      | kg             |
|                      | Zinco e seus compostos (Zn)                         | 2,03E-05      | kg             |
|                      | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | 5,70E-09      | kg             |
|                      | Fenóis  | 4,60E-06      | kg             |
|                      | Carbono Orgânico Total (COT)                        | 3,17E-03      | kg             |
|                      | Cloretos  | 4,21E-02      | kg             |
|                      | Cianetos  | 2,76E-06      | kg             |
|                      | Fluoretos   | 1,07E-03      | kg             |
|                      | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | 1,52E-08      | kg             |
|                      | Fósforo Total (P Total)                             | 1,39E-03      | kg             |
|                      | Azoto Total (N Total)                               | 3,24E-03      | kg             |
|                      | CQO   | 1,22E-09      | kg             |
|                      | CBO <sub>5</sub>                                    | 1,98E-10      | kg             |

Na Tabela 40 são apresentadas as emissões para o ar associadas à ETAR do Freixo.

**Tabela 40** - Emissões para o ar das caldeiras que utilizam biogás na ETAR do Freixo

| Tipo de Saída      | Inventário  | Quantidade/UF | Unidade |
|--------------------|---|---------------|---------|
| Emissões para o Ar | Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (COVNM)  | 3,31E-06      | kg      |
|                    | Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )               | 7,20E-02      | kg      |
|                    | Metano (CH <sub>4</sub> )                           | 1,72E-06      | kg      |
|                    | Monóxido de Carbono (CO)                            | 1,72E-06      | kg      |
|                    | Óxidos de Azoto (NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> ) | 2,65E-06      | kg      |
|                    | Dióxido de Nitrogénio (NO <sub>2</sub> )            | 7,95E-05      | kg      |
|                    | Óxidos de Enxofre                                   | 0,00E+00      | kg      |
|                    | Partículas (PTS/PM <sub>10</sub> )                  | 6,63E-07      | kg      |

Tal como na ETAR de Sobreiras, são produzidas lamas, gradados e areias, estando apresentado na Tabela 41 os valores de 2015, lembrando que estes são referentes apenas ao caudal do Porto.

**Tabela 41** - Gradados, areias e lamas gerados na ETAR do Freixo no ano de 2015

|          | Freixo    |                    | Quantidade/UF | Unidade |
|----------|-----------|--------------------|---------------|---------|
|          | kg        | Código de operação |               |         |
| Gradados | 63.456    | D1                 | 3,82E-03      | kg      |
| Areias   | 135.823   | R13                | 8,18E-03      | kg      |
| Lamas    | 2.792.942 | R3                 | 2,67E-01      | kg      |
|          | 295.322   | R10                | 2,82E-02      | kg      |

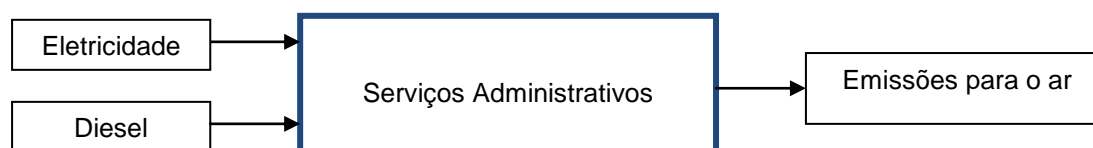
Relativamente aos transportes dos resíduos gerados, são apresentados na Tabela 42 as localidades das entidades que os recolhem e a sua distância até à empresa:

**Tabela 42** - Transporte dos resíduos gerados pelas entidades competentes

|          | Localidade | Distância à ETAR do Freixo (km) | Quantidade/UF | Unidade |
|----------|------------|---------------------------------|---------------|---------|
| Gradados | Porto      | 44,4                            | 1,70E-04      | tkm     |
| Areias   | Braga      | 61,4                            | 5,02E-04      | tkm     |
| Lamas    | Porto      | 39,4                            | 7,33E-03      | tkm     |

#### 4.1.2.5 Serviços Administrativos

Relativamente à etapa de Serviços Administrativos, de apoio à gestão, operação e manutenção das redes em análise, é considerada a eletricidade utilizada pela sede, assim como o combustível usado pelos veículos durante as suas deslocações, estando apresentados na Tabela 43 os valores obtidos. Para as saídas, foram contabilizadas as emissões de poluentes provenientes do uso de combustível diesel pelos veículos, sendo que estas foram calculadas utilizando a metodologia pela *European Monitoring and Evaluation Programme/European Environment Agency* (EMEP/EEA 20013), usando uma abordagem *Tier 1*, que fornece os fatores de emissão por kg de combustível utilizado, para cada categoria de transporte (passageiro, ligeiro de mercadorias e pesados) (EMEP/EEA, 2013). As emissões decorrentes da produção da eletricidade são calculadas diretamente pelo programa SimaPro e incluídas no impacto em cada categoria. A Figura 25 apresenta as entradas e saídas consideradas.

**Figura 25** - Entradas e saídas de recursos na etapa de serviços administrativos**Tabela 43** - Entradas de recursos na etapa de serviços administrativos

| Tipo de Entrada | Inventário                | Quantidade/UF | Unidade |
|-----------------|---------------------------|---------------|---------|
| Energia         | Eletricidade Média Tensão | 4,09E-02      | kWh     |
| Combustíveis    | Diesel                    | 5,97E-03      | kg      |

Na Tabela 44 são apresentadas as emissões resultantes da combustão de diesel.

**Tabela 44** - Emissões para o ar resultantes da combustão de diesel pelos veículos

| Tipo de Saída      | Inventário       | Quantidade/UF | Unidade |
|--------------------|------------------|---------------|---------|
| Emissões para o ar | CO               | 4,16E-05      | kg      |
|                    | CO <sub>2</sub>  | 1,88E-02      | kg      |
|                    | COVNM            | 9,37E-06      | kg      |
|                    | NO <sub>x</sub>  | 1,25E-04      | kg      |
|                    | PM <sub>10</sub> | 7,60E-06      | kg      |
|                    | N <sub>2</sub> O | 3,47E-07      | kg      |
|                    | NH <sub>3</sub>  | 1,96E-07      | kg      |

#### 4.1.3 Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida (AICV)

Tal como já foi explicado no subcapítulo 2.4.1, nesta etapa, de modo a avaliar a significância dos impactes ambientais, procede-se à associação dos dados do inventário a categorias de impacte ambiental e indicadores de categoria. No presente trabalho são realizadas apenas as etapas definidas como obrigatórias pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, excluindo assim a normalização, agregação e ponderação. As etapas obrigatórias incluem a seleção das categorias de impacte, a classificação e caracterização.

A metodologia escolhida foi a ReCiPe 2008, versão 1.11 de dezembro de 2014, uma vez que é a sucessora dos métodos Eco-Indicator 99 e CML-IA, desenvolvida de forma a conciliar a abordagem orientada para o problema, da metodologia CML-IA, com a abordagem orientada para os danos, da metodologia Eco-Indicator 99. Ou seja, é uma metodologia mais recente e melhorada destes 2 métodos já existentes. Analisando a bibliografia consultada, verifica-se que esta metodologia foi também a seguida por Lemos *et al.*, (2013). Assim, foram recolhidos os fatores de caracterização presentes nesta metodologia, que ao serem aplicados às emissões das atividades *Foreground*, permitem obter os resultados para essas atividades.

Para as atividades Background, foram consultadas bases de dados, tais como a Ecoinvent v3 e a *European Reference Life Cycle Database* (ELCD), disponíveis através do programa SimaPro 8 e posteriormente avaliadas segundo a metodologia ReCiPe 2008, também incorporada no *software*. Para cada elemento considerado, o programa avalia as várias contribuições associadas à sua produção e transporte de matérias-primas. Por exemplo, na produção de eletricidade, são englobadas as emissões para o ar decorrentes dessa produção, ou seja, o programa calcula automaticamente a multiplicação dos fatores de caracterização pela quantidade analisada. Para tratamento de toda a informação, recorreu-se à ferramenta Microsoft® Office Excel.



#### 4.1.3.1 AICV – Seleção das Categorias de Impacte

Na Tabela 45, são apresentadas 15 categorias a nível *midpoint*, da metodologia ReCiPe, utilizadas nesta dissertação, por serem as que apresentaram resultados a nível de impacte.

**Tabela 45** - Categorias de Impacte Consideradas

|  |  |
|--|--|
| Alterações Climáticas (AC)               | Ecotoxicidade Terrestre (ET)           |
| Depleção da Camada de Ozono (DCO)        | Ecotoxicidade em Água Doce (ETAD)      |
| Acidificação Terrestre (AT)              | Ecotoxicidade Marinha (ETM)            |
| Eutrofização de Água Doce (EAD)          | Radiação Ionizante (RI)                |
| Eutrofização Marinha (EM)                | Depleção de Água Doce (DAD)            |
| Toxicidade Humana (TH)                   | Depleção de Recursos Minerais (DM)     |
| Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF) | Depleção de Combustíveis Fósseis (DCF) |
| Formação de Material Particulado (FMP)   |  |

#### 4.1.3.2 AICV – Classificação

Esta fase consiste na imputação dos resultados do ICV a cada categoria de impacte. Para as atividades de *Background*, foram obtidos diretamente do programa os resultados para cada categoria, pelo que esta fase não se aplica. Já em relação às atividades *Foreground*, foram atribuídas as diversas emissões às categorias de impacte correspondentes, recorrendo à metodologia ReCiPe. Esta fornece os fatores de caracterização devidamente distribuídos pelas categorias correspondente.

#### 4.1.3.3 AICV – Caracterização

Aplicando a metodologia ReCiPe, obtiveram-se para as diversas emissões resultantes das atividades *Foreground*, os fatores de caracterização correspondentes. No Anexo 4 são apresentados, para cada categoria de impacte ambiental os fatores de caracterização correspondentes. A multiplicação destes fatores, pelos dados recolhidos na fase de inventário, permite obter os resultados para cada categoria. De referir que existem categorias de impacte que não recebem qualquer contribuição decorrente das atividades *Foreground*. Além disso, para algumas emissões recolhidas no inventário, a metodologia não fornece um fator de caracterização, pelo que não é possível avaliar a sua contribuição. Por exemplo, existem vários tipos de Cloretos, porém as análises da empresa aglomeram todos num único valor. Seria necessário saber em concreto quais são para recolher os fatores de caracterização de cada um. Foram recolhidos os fatores de caracterização através do modelo padrão, ou seja, usando a perspectiva Hierárquica (H), isto é, com um horizonte temporal a médio prazo.

#### 4.1.4 Resultados de ACV relativos às atividades de Foreground

A multiplicação dos fatores de caracterização, pelos dados recolhidos na fase inventário, permite obter os resultados para cada categoria, das atividades de *Foreground*. Os resultados são apresentados na Tabela 46, conjuntamente com os resultados do sistema produtivo completo, estando destacados com uma cor laranja e a negrito.

#### 4.1.5 Obtenção dos resultados de ACV das atividades Background

Os resultados de ACV das atividades *Background*, relativas à produção de energia, tubagem, reagentes químicos e transportes foram obtidos mediante as diversas bases de dados disponíveis no programa SimaPro 8. Assim, foram consultados os processos necessários, tendo sido utilizados, sempre que possível, dados referentes a Portugal e, no caso de não ser possível, a dados europeus. Por exemplo, a empresa Águas do Porto E.M. utiliza eletricidade de média tensão, pelo que se procurou obter informação relativa à produção de eletricidade de média tensão em Portugal, sendo que a atividade selecionada tem como ano de referência o ano de 2008. No Anexo 5 são apresentadas as atividades selecionadas no SimaPro.

Os polímeros utilizados nas ETAR são constituídos por poliacrilamida, pelo que foi o elemento da base de dados que se utilizou no estudo. Foi admitido que os transportes foram todos realizados por um camião de 16 a 32 toneladas, que consome diesel, sendo a unidade de referência 1 tonelada quilómetro (tkm), pelo que o resultado corresponde a uma aproximação. As lamas que são encaminhadas para agricultura diminuem a aplicação de fertilizantes sintéticos, que exigem na sua produção o consumo de energia e de recursos. Existem vários tipos de fertilizantes sintéticos no mercado, tais como superfosfato simples, nitrato de amónia e ureia. No presente trabalho foi utilizada a produção de superfosfato simples e nitrato de amónia.

#### 4.1.6 Resultados de ACV do sistema produtivo completo

Sendo conhecidos os resultados das atividades *Foreground* e explicada a forma de determinar os resultados das atividades *Background*, a soma das duas componentes permite obter os resultados de ACV de todo o sistema produtivo. Assim, são apresentados na Tabela 46 os resultados em cada etapa, assim como o valor total de todo o sistema. Os resultados referentes às atividades *Foreground*, são realçados com uma cor laranja e a negrito, pelo que os restantes correspondem aos resultados de *Background*.

Tabela 46 - Resultados de ACV do sistema produtivo completo

|              |   | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|--------------|---|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              |   | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| ETA          | Eletricidade  | 4,45E-07  | 8,50E-05  | 7,65E-01                | 4,79E-09       | 5,00E-03                | 2,56E-03      | 1,41E-03                 | 6,54E-03                 | 1,29E-03          | 1,74E-04   | 1,80E-01         | 2,93E-05       | 2,66E-02       | 2,21E-04       | 2,29E-05       |
|              | Químicos  | 1,09E-08  | 3,19E-06  | 8,44E-02                | 5,35E-10       | 1,08E-04                | 1,14E-04      | 3,74E-05                 | 6,72E-04                 | 3,64E-05          | 1,58E-05   | 9,39E-03         | 1,83E-06       | 5,09E-03       | 3,71E-05       | 4,60E-06       |
|              | Total ETA   | 4,56E-07  | 8,82E-05  | 8,49E-01                | 5,33E-09       | 5,11E-03                | 2,68E-03      | 1,44E-03                 | 7,21E-03                 | 1,32E-03          | 1,90E-04   | 1,89E-01         | 3,12E-05       | 3,17E-02       | 2,58E-04       | 2,75E-05       |
|              | Percentagem   | 0,02%     | 0,90%     | 58,34%                  | 19,16%         | 62,86%                  | 57,02%        | 62,60%                   | 31,38%                   | 43,40%            | 1,86%      | 19,13%           | 0,62%          | 25,58%         | 4,59%          | 52,41%         |
| Distribuição | Eletricidade  | 8,33E-09  | 1,59E-06  | 1,43E-02                | 8,97E-11       | 9,37E-05                | 4,80E-05      | 2,63E-05                 | 1,22E-04                 | 2,41E-05          | 3,25E-06   | 3,37E-03         | 5,49E-07       | 4,98E-04       | 4,14E-06       | 4,29E-07       |
|              | Combustíveis  | 2,36E-09  | 1,75E-08  | 1,32E-04                | 1,91E-12       | 6,99E-07                | 4,59E-07      | 1,81E-07                 | 2,32E-06                 | 8,66E-09          | 1,67E-07   | 2,25E-04         | 2,13E-08       | 5,15E-06       | 2,34E-07       | 5,84E-09       |
|              | Tubagem   | 1,54E-06  | 7,24E-06  | 6,98E-03                | 2,75E-10       | 2,49E-05                | 2,41E-05      | 1,80E-05                 | 4,80E-04                 | 4,42E-05          | 2,28E-03   | 2,60E-03         | 7,89E-05       | 4,76E-03       | 8,04E-05       | 1,01E-06       |
|              | Água Não Faturada                                   | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 0,00E+00                | 0,00E+00       | 0,00E+00                | 0,00E+00      | 0,00E+00                 | 0,00E+00                 | 2,54E-04          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       |
|              | Transportes   | 3,62E-09  | 1,98E-08  | 5,26E-05                | 9,62E-12       | 1,71E-07                | 2,13E-07      | 9,96E-08                 | 4,33E-06                 | -1,68E-08         | 1,97E-06   | 1,88E-05         | 3,87E-07       | 2,04E-05       | 6,00E-07       | 3,80E-08       |
|              | Total Distribuição                                  | 1,55E-06  | 8,87E-06  | 2,15E-02                | 3,77E-10       | 1,19E-04                | 7,27E-05      | 4,46E-05                 | 6,09E-04                 | 3,22E-04          | 2,29E-03   | 6,21E-03         | 7,98E-05       | 5,28E-03       | 8,54E-05       | 1,49E-06       |
|              | Percentagem   | 0,06%     | 0,09%     | 1,48%                   | 1,35%          | 1,47%                   | 1,55%         | 1,93%                    | 2,65%                    | 10,56%            | 22,38%     | 0,63%            | 1,58%          | 4,26%          | 1,52%          | 2,83%          |
| Drenagem     | Eletricidade  | 2,59E-09  | 4,95E-07  | 4,45E-03                | 2,79E-11       | 2,91E-05                | 1,49E-05      | 8,14E-06                 | 3,81E-05                 | 7,53E-06          | 1,01E-06   | 1,05E-03         | 1,71E-07       | 1,55E-04       | 1,29E-06       | 1,33E-07       |
|              | Combustíveis  | 5,16E-10  | 2,90E-09  | 2,22E-05                | 3,65E-13       | 1,23E-07                | 8,19E-08      | 3,20E-08                 | 4,43E-07                 | 9,36E-09          | 3,74E-08   | 5,06E-05         | 4,17E-09       | 8,04E-07       | 4,80E-08       | 8,44E-10       |
|              | Tubagens  | 2,03E-06  | 9,36E-06  | 6,25E-03                | 3,65E-10       | 2,25E-05                | 2,47E-05      | 2,01E-05                 | 6,35E-04                 | 5,79E-05          | 3,02E-03   | 1,30E-03         | 1,04E-04       | 6,25E-03       | 1,06E-04       | 1,34E-06       |
|              | Transportes   | 2,63E-08  | 1,43E-07  | 3,82E-04                | 6,98E-11       | 1,24E-06                | 1,55E-06      | 7,23E-07                 | 3,14E-05                 | -1,22E-07         | 1,43E-05   | 1,36E-04         | 2,81E-06       | 1,48E-04       | 4,35E-06       | 2,76E-07       |
|              | Total Drenagem                                      | 2,06E-06  | 1,00E-05  | 1,11E-02                | 4,63E-10       | 5,30E-05                | 4,12E-05      | 2,90E-05                 | 7,05E-04                 | 6,53E-05          | 3,03E-03   | 2,54E-03         | 1,07E-04       | 6,56E-03       | 1,12E-04       | 1,75E-06       |
|              | Percentagem   | 0,08%     | 0,10%     | 0,76%                   | 1,66%          | 0,65%                   | 0,88%         | 1,26%                    | 3,07%                    | 2,14%             | 29,68%     | 0,26%            | 2,12%          | 5,29%          | 1,99%          | 3,34%          |
| ETAR Freixo  | Eletricidade  | 6,84E-08  | 1,31E-05  | 1,17E-01                | 7,36E-10       | 7,68E-04                | 3,93E-04      | 2,16E-04                 | 1,00E-03                 | 1,98E-04          | 2,67E-05   | 2,76E-02         | 4,51E-06       | 4,09E-03       | 3,39E-05       | 3,52E-06       |
|              | Químicos  | 2,52E-06  | 2,30E-05  | 1,40E-02                | 2,37E-09       | 5,83E-05                | 3,17E-05      | 1,85E-05                 | 1,21E-03                 | 1,66E-04          | 7,05E-04   | 4,15E-03         | 1,33E-04       | 3,48E-03       | 1,24E-04       | 8,34E-07       |
|              | Transportes   | 1,20E-07  | 6,56E-07  | 1,74E-03                | 3,19E-10       | 5,68E-06                | 7,08E-06      | 3,30E-06                 | 1,44E-04                 | -5,56E-07         | 6,54E-05   | 6,24E-04         | 1,28E-05       | 6,76E-04       | 1,99E-05       | 1,26E-06       |
|              | Emissões para a água                                | 1,39E-03  | 3,24E-03  | 0,00E+00                | 0,00E+00       | 0,00E+00                | 0,00E+00      | 0,00E+00                 | 0,00E+00                 | 0,00E+00          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 3,04E-03       | 1,39E-02       | 2,90E-03       | 3,92E-08       |
|              | Emissões para o ar                                  | 0,00E+00  | 3,20E-06  | 7,21E-02                | 0,00E+00       | 4,60E-05                | 8,56E-05      | 1,82E-05                 | 0,00E+00                 | 0,00E+00          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       |
|              | Lamas   | -6,89E-07 | -2,92E-06 | -2,15E-03               | -7,36E-11      | -1,73E-05               | -2,24E-06     | -3,81E-06                | -1,83E-04                | -1,28E-05         | -1,00E-04  | -3,97E-04        | -1,82E-05      | -4,84E-04      | -1,68E-05      | -1,21E-07      |
|              | Emissões lamas (CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O) | 0,00E+00  | 0,00E+00  | 4,48E-03                | 0,00E+00       | 0,00E+00                | 8,89E-07      | 0,00E+00                 | 0,00E+00                 | 0,00E+00          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       |

**Tabela 46 – Resultados e ACV o sistema produtivo completo (continuação)**

|                        |                              | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                        |                              | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| ETAR Freixo            | Total ETAR Freixo            | 1,39E-03  | 3,28E-03  | 2,08E-01                | 3,35E-09       | 8,61E-04                | 5,17E-04      | 2,52E-04                 | 2,18E-03                 | 3,50E-04          | 6,97E-04   | 3,20E-02         | 3,17E-03       | 2,16E-02       | 3,06E-03       | 5,53E-06       |
|                        | Percentagem                  | 52,50%    | 33,54%    | 14,26%                  | 12,06%         | 10,59%                  | 11,00%        | 10,93%                   | 9,46%                    | 11,49%            | 6,82%      | 3,23%            | 62,65%         | 17,46%         | 54,32%         | 10,54%         |
| ETAR Sobreiras         | Eletricidade                 | 7,28E-06  | 3,19E-05  | 2,48E-01                | 4,62E-09       | 1,44E-03                | 9,77E-04      | 3,78E-04                 | 5,62E-03                 | 2,04E-04          | 5,36E-04   | 7,28E-01         | 5,39E-05       | 8,24E-03       | 6,45E-04       | 7,72E-06       |
|                        | Gás Natural                  | 4,60E-09  | 2,33E-08  | 8,78E-05                | 2,28E-12       | 3,41E-06                | 6,86E-07      | 7,03E-07                 | 2,35E-06                 | -1,41E-07         | 1,67E-06   | 2,97E-04         | 5,03E-06       | 7,16E-05       | 1,51E-06       | 7,06E-08       |
|                        | Químicos                     | 1,21E-05  | 8,04E-05  | 6,08E-02                | 1,24E-08       | 2,35E-04                | 1,37E-04      | 7,96E-05                 | 5,89E-03                 | 7,28E-04          | 3,26E-03   | 1,52E-02         | 6,22E-04       | 1,64E-02       | 5,80E-04       | 3,47E-06       |
|                        | Transportes                  | 3,63E-07  | 1,98E-06  | 5,28E-03                | 9,65E-10       | 1,72E-05                | 2,14E-05      | 9,99E-06                 | 4,35E-04                 | -1,68E-06         | 1,98E-04   | 1,89E-03         | 3,88E-05       | 2,05E-03       | 6,02E-05       | 3,82E-06       |
|                        | Emissões para a água         | 1,24E-03  | 6,27E-03  | 0,00E+00                | 0,00E+00       | 0,00E+00                | 0,00E+00      | 0,00E+00                 | 0,00E+00                 | 0,00E+00          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 9,52E-04       | 3,08E-02       | 8,13E-04       | 1,17E-07       |
|                        | Inertes para Aterro          | 9,05E-09  | 6,19E-08  | 9,09E-05                | 3,01E-11       | 6,86E-07                | 9,49E-07      | 3,06E-07                 | 1,31E-05                 | 2,85E-06          | 4,00E-06   | 6,09E-05         | 4,49E-07       | 1,26E-05       | 4,37E-07       | 9,24E-09       |
|                        | Total ETAR Sobreiras         | 1,25E-03  | 6,38E-03  | 3,14E-01                | 1,80E-08       | 1,70E-03                | 1,14E-03      | 4,69E-04                 | 1,20E-02                 | 9,33E-04          | 4,00E-03   | 7,45E-01         | 1,67E-03       | 5,76E-02       | 2,10E-03       | 1,52E-05       |
|                        | Percentagem                  | 47,35%    | 65,28%    | 21,57%                  | 64,90%         | 20,89%                  | 24,22%        | 20,31%                   | 52,05%                   | 30,62%            | 39,14%     | 75,32%           | 33,01%         | 46,47%         | 37,32%         | 28,98%         |
| Total 2 ETAR           | Total ETAR                   | 2,65E-03  | 9,66E-03  | 5,21E-01                | 2,14E-08       | 2,56E-03                | 1,65E-03      | 7,21E-04                 | 1,41E-02                 | 1,28E-03          | 4,70E-03   | 7,77E-01         | 4,85E-03       | 7,93E-02       | 5,16E-03       | 2,07E-05       |
|                        | Percentagem                  | 99,84%    | 98,82%    | 35,83%                  | 76,96%         | 31,47%                  | 35,22%        | 31,24%                   | 61,51%                   | 42,12%            | 45,96%     | 78,56%           | 95,66%         | 63,93%         | 91,64%         | 39,51%         |
| Serviço Administrativo | Eletricidade                 | 1,81E-08  | 3,46E-06  | 3,12E-02                | 1,95E-10       | 2,04E-04                | 1,04E-04      | 5,73E-05                 | 2,67E-04                 | 5,24E-05          | 7,08E-06   | 7,33E-03         | 1,20E-06       | 1,08E-03       | 9,01E-06       | 9,33E-07       |
|                        | Produção de Diesel           | 6,81E-08  | 2,99E-07  | 2,32E-03                | 4,33E-11       | 1,35E-05                | 9,14E-06      | 3,54E-06                 | 5,26E-05                 | 1,91E-06          | 5,01E-06   | 6,81E-03         | 5,05E-07       | 7,71E-05       | 6,03E-06       | 7,23E-08       |
|                        | Deslocações dos veículos     | 0,00E+00  | 4,90E-06  | 1,89E-02                | 0,00E+00       | 7,07E-05                | 1,37E-04      | 7,66E-06                 | 0,00E+00                 | 0,00E+00          | 0,00E+00   | 0,00E+00         | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00       |
|                        | Total Serviço Administrativo | 8,62E-08  | 8,67E-06  | 5,23E-02                | 2,39E-10       | 2,88E-04                | 2,50E-04      | 6,85E-05                 | 3,19E-04                 | 5,43E-05          | 1,21E-05   | 1,41E-02         | 1,70E-06       | 1,16E-03       | 1,50E-05       | 1,01E-06       |
|                        | Percentagem                  | 0,00%     | 0,09%     | 3,60%                   | 0,86%          | 3,54%                   | 5,33%         | 2,97%                    | 1,39%                    | 1,78%             | 0,12%      | 1,43%            | 0,03%          | 0,94%          | 0,27%          | 1,92%          |
| Total Sistema          | Total Sistema                | 2,65E-03  | 9,78E-03  | 1,46E+00                | 2,78E-08       | 8,13E-03                | 4,69E-03      | 2,31E-03                 | 2,30E-02                 | 3,05E-03          | 1,02E-02   | 9,89E-01         | 5,07E-03       | 1,24E-01       | 5,63E-03       | 5,25E-05       |
|                        | Percentagem                  | 100%      | 100%      | 100%                    | 100%           | 100%                    | 100%          | 100%                     | 100%                     | 100%              | 100%       | 100%             | 100%           | 100%           | 100%           | 100%           |

## 4.2 Avaliação do indicador económico

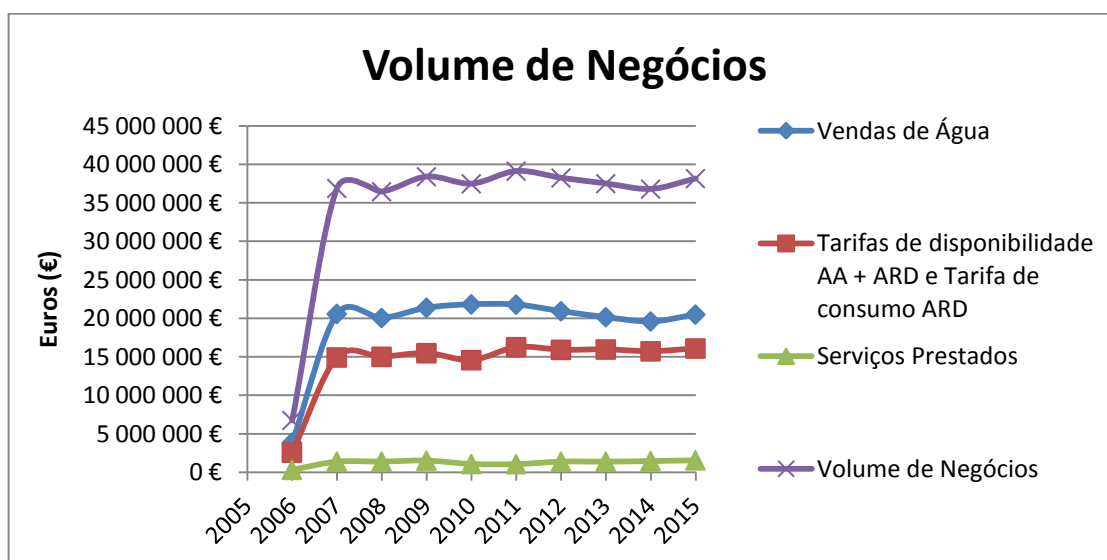
De forma a calcular a ecoeficiência, é necessário selecionar um indicador económico que reflita a componente económica do sistema. Assim, utilizou-se o volume de negócios anual da empresa, que reflete o valor de venda de bens e serviços num determinado ano. No presente estudo, este valor engloba a venda de água, as tarifas de disponibilidade (reportam-se aos custos pela disponibilização do serviço aos consumidores) de Abastecimento de Água (AA) e Águas Residuais Domésticas (ARD) e os serviços prestados. Na Tabela 47 estão presentes os valores referentes a 2015.

**Tabela 47** - Volume de negócios da Águas do Porto E.M. em 2015

|   |                   |
|---|-------------------|
| Venda de Água (€)   | 20.493.375        |
| Tarifas de disponibilidade AA + ARD e Tarifa de consumo ARD (€) | 16.090.698        |
| Serviços Prestados (€)  | 1.572.378         |
| <b>Volume de Negócios (€)</b>                                   | <b>38.156.450</b> |

A justificação para esta escolha deve-se à pouca variabilidade anual demonstrada por este indicador, apresentando-se como uma boa base de comparação do desempenho em cada ano e por ser referente à venda da água aos consumidores. Optou-se por não utilizar os lucros como indicador económico porque estes podem variar anualmente e podem incluir projetos ou atividades que não são abordadas neste estudo. Além disso, uma determinada empresa pode não apresentar lucros num dado ano porque investiu dinheiro em projetos com vista a ter proveitos no futuro, como por exemplo benefícios ambientais e não porque a venda do seu produto foi afetada.

Analisando a Figura 26, é possível observar que este indicador varia pouco ao longo dos anos. Relativamente a 2006, verifica-se que o indicador apresenta um valor muito menor que os restantes, uma vez que a empresa Águas do Porto E.M. entrou em atividade em outubro desse ano. Desta forma, este ano não será avaliado a nível de ecoeficiência, pois os resultados finais seriam influenciados por essa grande discrepância. Para 2006, será só analisada a componente da Avaliação de Ciclo de Vida.



**Figura 26** - Evolução do volume de negócios da Águas do Porto E.M.

Uma vez que os resultados da Avaliação de Ciclo de Vida são apresentados por unidade funcional, o mesmo tem de acontecer com o indicador económico. Assim, a divisão de 38.156.450 € pelos 16.603.906 m<sup>3</sup> de água faturada, permite obter um valor de 2,30 €. Este é o valor pelo qual todos os resultados da avaliação de ciclo de vida são divididos e permite obter o resultado da ecoeficiência.

### **4.3 Avaliação da Ecoeficiência**

Uma vez estabelecidos os valores ambientais e económicos, é possível calcular a ecoeficiência. Assim, foi aplicada a equação inversa à equação 1, apresentada no subcapítulo 2.4, ou seja, dividiu-se os impactes ambientais apresentados na Tabela 46, obtidos através da aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida, pelo indicador económico adotado. Desta forma, quanto mais próximo de zero for o resultado obtido em cada categoria, maior a ecoeficiência. São apresentados na Tabela 48 os resultados obtidos em cada etapa, assim como no sistema total.

Tabela 48 - Resultados de ecoeficiência do sistema produtivo completo

|              |   | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|--------------|---|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|              |   | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| ETA          | Eletricidade  | 1,94E-07    | 3,70E-05    | 3,33E-01                  | 2,09E-09         | 2,18E-03                  | 1,12E-03        | 6,12E-04                   | 2,85E-03                   | 5,60E-04            | 7,56E-05     | 7,83E-02           | 1,28E-05         | 1,16E-02         | 9,62E-05         | 9,97E-06         |
|              | Químicos  | 4,73E-09    | 1,39E-06    | 3,67E-02                  | 2,33E-10         | 4,72E-05                  | 4,97E-05        | 1,63E-05                   | 2,93E-04                   | 1,58E-05            | 6,87E-06     | 4,09E-03           | 7,97E-07         | 2,21E-03         | 1,62E-05         | 2,00E-06         |
|              | Total ETA   | 1,98E-07    | 3,84E-05    | 3,69E-01                  | 2,32E-09         | 2,22E-03                  | 1,16E-03        | 6,28E-04                   | 3,14E-03                   | 5,76E-04            | 8,25E-05     | 8,24E-02           | 1,36E-05         | 1,38E-02         | 1,12E-04         | 1,20E-05         |
|              | Percentagem   | 0,02%       | 0,90%       | 58,34%                    | 19,16%           | 62,86%                    | 57,02%          | 62,60%                     | 31,38%                     | 43,40%              | 1,86%        | 19,13%             | 0,62%            | 25,58%           | 4,59%            | 52,41%           |
| Distribuição | Eletricidade  | 3,63E-09    | 6,92E-07    | 6,23E-03                  | 3,90E-11         | 4,08E-05                  | 2,09E-05        | 1,15E-05                   | 5,33E-05                   | 1,05E-05            | 1,42E-06     | 1,47E-03           | 2,39E-07         | 2,17E-04         | 1,80E-06         | 1,87E-07         |
|              | Combustíveis  | 1,03E-09    | 7,61E-09    | 5,75E-05                  | 8,32E-13         | 3,04E-07                  | 2,00E-07        | 7,86E-08                   | 1,01E-06                   | 3,77E-09            | 7,26E-08     | 9,78E-05           | 9,28E-09         | 2,24E-06         | 1,02E-07         | 2,54E-09         |
|              | Tubagem   | 6,69E-07    | 3,15E-06    | 3,04E-03                  | 1,20E-10         | 1,09E-05                  | 1,05E-05        | 7,82E-06                   | 2,09E-04                   | 1,92E-05            | 9,93E-04     | 1,13E-03           | 3,43E-05         | 2,07E-03         | 3,50E-05         | 4,41E-07         |
|              | Água Não Faturada                                   | 0,00E+00    | 0,00E+00    | 0,00E+00                  | 0,00E+00         | 0,00E+00                  | 0,00E+00        | 0,00E+00                   | 0,00E+00                   | 1,10E-04            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         |
|              | Transportes   | 1,57E-09    | 8,60E-09    | 2,29E-05                  | 4,19E-12         | 7,44E-08                  | 9,29E-08        | 4,33E-08                   | 1,88E-06                   | -7,30E-09           | 8,57E-07     | 8,18E-06           | 1,68E-07         | 8,87E-06         | 2,61E-07         | 1,66E-08         |
|              | Total Distribuição                                  | 6,75E-07    | 3,86E-06    | 9,34E-03                  | 1,64E-10         | 5,20E-05                  | 3,16E-05        | 1,94E-05                   | 2,65E-04                   | 1,40E-04            | 9,95E-04     | 2,70E-03           | 3,47E-05         | 2,30E-03         | 3,71E-05         | 6,47E-07         |
|              | Percentagem   | 0,06%       | 0,09%       | 1,48%                     | 1,35%            | 1,47%                     | 1,55%           | 1,93%                      | 2,65%                      | 10,56%              | 22,38%       | 0,63%              | 1,58%            | 4,26%            | 1,52%            | 2,83%            |
| Drenagem     | Eletricidade  | 1,13E-09    | 2,15E-07    | 1,94E-03                  | 1,21E-11         | 1,27E-05                  | 6,48E-06        | 3,54E-06                   | 1,66E-05                   | 3,28E-06            | 4,41E-07     | 4,58E-04           | 7,42E-08         | 6,75E-05         | 5,62E-07         | 5,81E-08         |
|              | Combustíveis  | 2,25E-10    | 1,26E-09    | 9,65E-06                  | 1,59E-13         | 5,35E-08                  | 3,56E-08        | 1,39E-08                   | 1,93E-07                   | 4,07E-09            | 1,63E-08     | 2,20E-05           | 1,81E-09         | 3,50E-07         | 2,09E-08         | 3,67E-10         |
|              | Tubagens  | 8,85E-07    | 4,07E-06    | 2,72E-03                  | 1,59E-10         | 9,79E-06                  | 1,07E-05        | 8,76E-06                   | 2,76E-04                   | 2,52E-05            | 1,31E-03     | 5,68E-04           | 4,54E-05         | 2,72E-03         | 4,63E-05         | 5,84E-07         |
|              | Transportes   | 1,14E-08    | 6,24E-08    | 1,66E-04                  | 3,04E-11         | 5,40E-07                  | 6,74E-07        | 3,15E-07                   | 1,37E-05                   | -5,29E-08           | 6,22E-06     | 5,94E-05           | 1,22E-06         | 6,44E-05         | 1,89E-06         | 1,20E-07         |
|              | Total Drenagem                                      | 8,98E-07    | 4,35E-06    | 4,83E-03                  | 2,01E-10         | 2,31E-05                  | 1,79E-05        | 1,26E-05                   | 3,07E-04                   | 2,84E-05            | 1,32E-03     | 1,11E-03           | 4,67E-05         | 2,85E-03         | 4,88E-05         | 7,62E-07         |
|              | Percentagem   | 0,08%       | 0,10%       | 0,76%                     | 1,66%            | 0,65%                     | 0,88%           | 1,26%                      | 3,07%                      | 2,14%               | 29,68%       | 0,26%              | 2,12%            | 5,29%            | 1,99%            | 3,34%            |
| ETAR Freixo  | Eletricidade  | 2,97E-08    | 5,68E-06    | 5,11E-02                  | 3,20E-10         | 3,34E-04                  | 1,71E-04        | 9,40E-05                   | 4,37E-04                   | 8,60E-05            | 1,16E-05     | 1,20E-02           | 1,96E-06         | 1,78E-03         | 1,48E-05         | 1,53E-06         |
|              | Químicos  | 1,10E-06    | 1,00E-05    | 6,07E-03                  | 1,03E-09         | 2,54E-05                  | 1,38E-05        | 8,07E-06                   | 5,27E-04                   | 7,23E-05            | 3,07E-04     | 1,80E-03           | 5,80E-05         | 1,52E-03         | 5,42E-05         | 3,63E-07         |
|              | Transportes   | 5,23E-08    | 2,85E-07    | 7,59E-04                  | 1,39E-10         | 2,47E-06                  | 3,08E-06        | 1,44E-06                   | 6,25E-05                   | -2,42E-07           | 2,85E-05     | 2,72E-04           | 5,58E-06         | 2,94E-04         | 8,66E-06         | 5,49E-07         |
|              | Emissões para a água                                | 6,05E-04    | 1,41E-03    | 0,00E+00                  | 0,00E+00         | 0,00E+00                  | 0,00E+00        | 0,00E+00                   | 0,00E+00                   | 0,00E+00            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 1,32E-03         | 6,04E-03         | 1,26E-03         | 1,70E-08         |
|              | Emissões para o ar                                  | 0,00E+00    | 1,39E-06    | 3,14E-02                  | 0,00E+00         | 2,00E-05                  | 3,72E-05        | 7,90E-06                   | 0,00E+00                   | 0,00E+00            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         |
|              | Lamas   | -3,00E-07   | -1,27E-06   | -9,37E-04                 | -3,20E-11        | -7,53E-06                 | -9,75E-07       | -1,66E-06                  | -7,95E-05                  | -5,58E-06           | -4,35E-05    | -1,73E-04          | -7,90E-06        | -2,11E-04        | -7,32E-06        | -5,25E-08        |
|              | Emissões lamas (CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O) | 0,00E+00    | 0,00E+00    | 1,95E-03                  | 0,00E+00         | 0,00E+00                  | 3,87E-07        | 0,00E+00                   | 0,00E+00                   | 0,00E+00            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         |

**Tabela 48 – Resultados de ecoeficiência do sistema produtivo completo (continuação)**

|                        |                              | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------------------------|------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                        |                              | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| ETAR Freixo            | Total ETAR Freixo            | 6,05E-04    | 1,43E-03    | 9,03E-02                  | 1,46E-09         | 3,75E-04                  | 2,25E-04        | 1,10E-04                   | 9,47E-04                   | 1,52E-04            | 3,03E-04     | 1,39E-02           | 1,38E-03         | 9,42E-03         | 1,33E-03         | 2,41E-06         |
|                        | Percentagem                  | 52,50%      | 33,54%      | 14,26%                    | 12,06%           | 10,59%                    | 11,00%          | 10,93%                     | 9,46%                      | 11,49%              | 6,82%        | 3,23%              | 62,65%           | 17,46%           | 54,32%           | 10,54%           |
| ETAR Sobreiras         | Electricidade                | 3,17E-06    | 1,39E-05    | 1,08E-01                  | 2,01E-09         | 6,28E-04                  | 4,25E-04        | 1,64E-04                   | 2,45E-03                   | 8,89E-05            | 2,33E-04     | 3,17E-01           | 2,35E-05         | 3,58E-03         | 2,81E-04         | 3,36E-06         |
|                        | Gás Natural                  | 2,00E-09    | 1,02E-08    | 3,82E-05                  | 9,92E-13         | 1,48E-06                  | 2,98E-07        | 3,06E-07                   | 1,02E-06                   | -6,13E-08           | 7,28E-07     | 1,29E-04           | 2,19E-06         | 3,12E-05         | 6,59E-07         | 3,07E-08         |
|                        | Químicos                     | 5,27E-06    | 3,50E-05    | 2,64E-02                  | 5,41E-09         | 1,02E-04                  | 5,96E-05        | 3,47E-05                   | 2,56E-03                   | 3,17E-04            | 1,42E-03     | 6,63E-03           | 2,71E-04         | 7,14E-03         | 2,52E-04         | 1,51E-06         |
|                        | Transportes                  | 1,58E-07    | 8,63E-07    | 2,30E-03                  | 4,20E-10         | 7,47E-06                  | 9,32E-06        | 4,35E-06                   | 1,89E-04                   | -7,32E-07           | 8,60E-05     | 8,21E-04           | 1,69E-05         | 8,90E-04         | 2,62E-05         | 1,66E-06         |
|                        | Emissões para a água         | 5,37E-04    | 2,73E-03    | 0,00E+00                  | 0,00E+00         | 0,00E+00                  | 0,00E+00        | 0,00E+00                   | 0,00E+00                   | 0,00E+00            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 4,14E-04         | 1,34E-02         | 3,54E-04         | 5,08E-08         |
|                        | Inertes para Aterro          | 3,94E-09    | 2,69E-08    | 3,95E-05                  | 1,31E-11         | 2,99E-07                  | 4,13E-07        | 1,33E-07                   | 5,71E-06                   | 1,24E-06            | 1,74E-06     | 2,65E-05           | 1,95E-07         | 5,48E-06         | 1,90E-07         | 4,02E-09         |
|                        | Total ETAR Sobreiras         | 5,46E-04    | 2,78E-03    | 1,37E-01                  | 7,85E-09         | 7,39E-04                  | 4,95E-04        | 2,04E-04                   | 5,21E-03                   | 4,06E-04            | 1,74E-03     | 3,24E-01           | 7,28E-04         | 2,51E-02         | 9,14E-04         | 6,62E-06         |
|                        | Percentagem                  | 47,35%      | 65,28%      | 21,57%                    | 64,90%           | 20,89%                    | 24,22%          | 20,31%                     | 52,05%                     | 30,62%              | 39,14%       | 75,32%             | 33,01%           | 46,47%           | 37,32%           | 28,98%           |
| Total 2 ETAR           | Total ETAR                   | 1,15E-03    | 4,20E-03    | 2,27E-01                  | 9,31E-09         | 1,11E-03                  | 7,19E-04        | 3,14E-04                   | 6,15E-03                   | 5,58E-04            | 2,04E-03     | 3,38E-01           | 2,11E-03         | 3,45E-02         | 2,24E-03         | 9,03E-06         |
|                        | Percentagem                  | 99,84%      | 98,82%      | 35,83%                    | 76,96%           | 31,47%                    | 35,22%          | 31,24%                     | 61,51%                     | 42,12%              | 45,96%       | 78,56%             | 95,66%           | 63,93%           | 91,64%           | 39,51%           |
| Serviço Administrativo | Electricidade                | 7,89E-09    | 1,51E-06    | 1,36E-02                  | 8,50E-11         | 8,87E-05                  | 4,54E-05        | 2,49E-05                   | 1,16E-04                   | 2,28E-05            | 3,08E-06     | 3,19E-03           | 5,20E-07         | 4,72E-04         | 3,92E-06         | 4,06E-07         |
|                        | Produção de Diesel           | 2,96E-08    | 1,30E-07    | 1,01E-03                  | 1,88E-11         | 5,88E-06                  | 3,98E-06        | 1,54E-06                   | 2,29E-05                   | 8,32E-07            | 2,18E-06     | 2,96E-03           | 2,20E-07         | 3,35E-05         | 2,63E-06         | 3,15E-08         |
|                        | Deslocações dos veículos     | 0,00E+00    | 2,13E-06    | 8,21E-03                  | 0,00E+00         | 3,08E-05                  | 5,94E-05        | 3,33E-06                   | 0,00E+00                   | 0,00E+00            | 0,00E+00     | 0,00E+00           | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         |
|                        | Total Serviço Administrativo | 3,75E-08    | 3,77E-06    | 2,28E-02                  | 1,04E-10         | 1,25E-04                  | 1,09E-04        | 2,98E-05                   | 1,39E-04                   | 2,36E-05            | 5,26E-06     | 6,15E-03           | 7,40E-07         | 5,06E-04         | 6,55E-06         | 4,38E-07         |
|                        | Percentagem                  | 0,00%       | 0,09%       | 3,60%                     | 0,86%            | 3,54%                     | 5,33%           | 2,97%                      | 1,39%                      | 1,78%               | 0,12%        | 1,43%              | 0,03%            | 0,94%            | 0,27%            | 1,92%            |
| Total Sistema          | Total Sistema                | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,33E-01                  | 1,21E-08         | 3,54E-03                  | 2,04E-03        | 1,00E-03                   | 1,00E-02                   | 1,33E-03            | 4,45E-03     | 4,31E-01           | 2,20E-03         | 5,40E-02         | 2,45E-03         | 2,28E-05         |
|                        | Percentagem                  | 100%        | 100%        | 100%                      | 100%             | 100%                      | 100%            | 100%                       | 100%                       | 100%                | 100%         | 100%               | 100%             | 100%             | 100%             | 100%             |



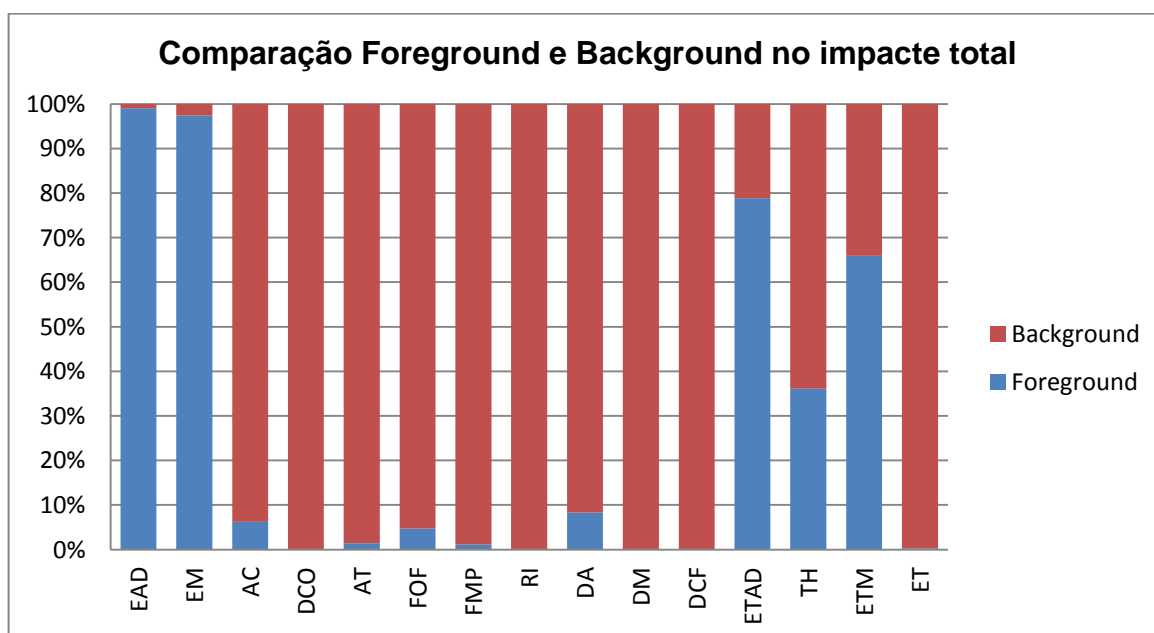
## 5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida em 2015

Realizando uma comparação entre os resultados de *Foreground* e *Background*, pode-se observar pela Figura 27 que apenas em 5 das 15 categorias analisadas é que as atividades de *Foreground* apresentam uma elevada contribuição, devido às emissões para a água das duas ETAR em estudo. Estas 5 categorias são a eutrofização de água doce (EAD), eutrofização marinha (EM), ecotoxicidade de água doce (ETAD), toxicidade humana (TH) e ecotoxicidade marinha (ETM). Analisando de forma mais detalhada, a nível de eutrofização de água doce (EAD) e eutrofização marinha (EM), verifica-se uma contribuição de 99% (devido ao fósforo total) e 97,4% (devido ao azoto total), respetivamente. Para a ecotoxicidade de água doce (ETAD) existe uma contribuição de 78,8% (principalmente devido ao níquel e cobre), para a toxicidade humana (TH) 36,1% (maioritariamente devido ao arsénio) e para a ecotoxicidade marinha (ETM) 65,9% (especialmente devido ao níquel).

A nível de alterações climáticas (AC), cerca de 5% deve-se às emissões para o ar na ETAR do Freixo e 1,3% às deslocações dos veículos da empresa, totalizando assim 6,3% do impacto total. Ou seja, para o impacto total de 1,46 kg CO<sub>2</sub> eq/UF (ver Tabela 46), verifica-se que apenas 0,092 kg CO<sub>2</sub> eq/UF são devidas à ação direta da Águas do Porto E.M.

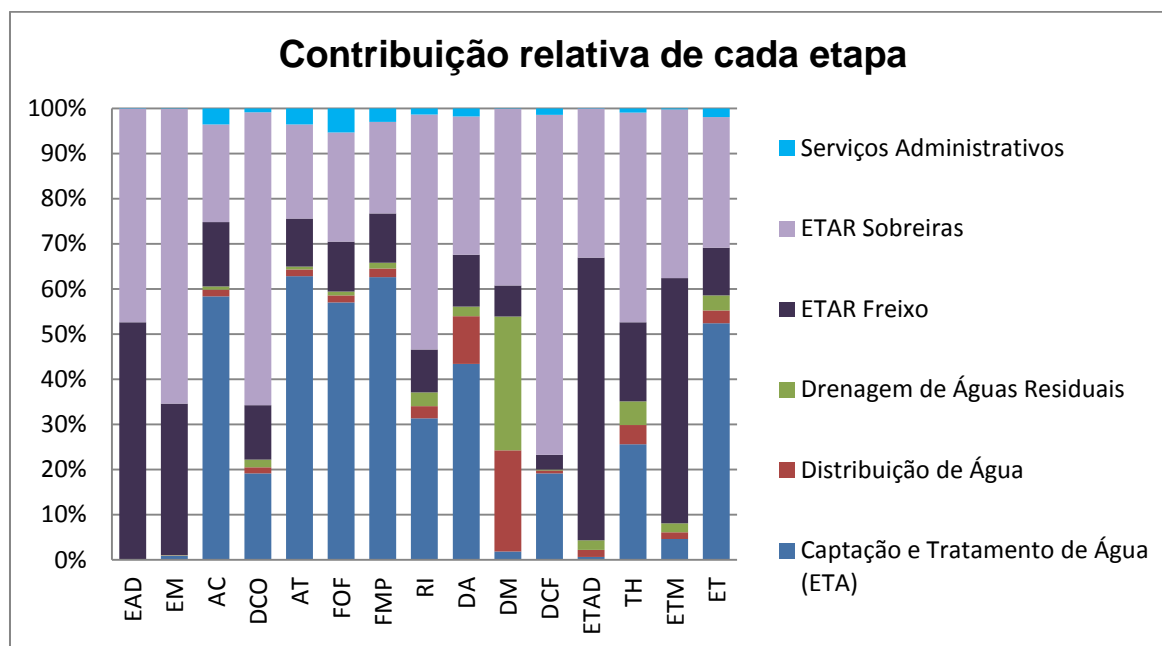
Verifica-se uma contribuição de 1,4% na acidificação terrestre (AT), 4,7% na formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), 1,1% na formação de material particulado (FMP) também devido às deslocações dos veículos (especialmente NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>) e das emissões para o ar na ETAR do Freixo. Por fim, para a depleção de água (DA), observa-se uma contribuição de 8,3% devido à água não faturada, uma vez que esta foi incluída nesta categoria, visto que se trata de água que foi captada do rio mas não é utilizada pelos consumidores, sendo perdida ao longo da sua distribuição.



**Figura 27** - Comparação da contribuição do *Foreground* e *Background* no impacto total

### 5.1.1 Contribuição relativa de cada etapa do sistema no impacto total em 2015

Analisando a contribuição relativa de cada etapa no impacto total, é possível observar pela Figura 28, que a Captação e Tratamento de Água (ETA), bem como o Tratamento de Águas Residuais nas ETAR são as principais etapas a contribuir para o impacto total.



**Figura 28** - Resultados ACV do sistema produtivo completo com contribuição de cada ETAR

A etapa de Captação e Tratamento de Água apresenta uma contribuição acima de 50 % em várias categorias, nomeadamente para as alterações climáticas (AC) com 58,4%, acidificação terrestre (AT) com 62,9%, formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 57%, formação de material particulado (FMP) com 62,6% e ecotoxicidade terrestre (ET) com 52,4%.

O Tratamento de Águas Residuais, nas ETAR do Freixo e de Sobreiras, tem impacto de praticamente 100% nas categorias de eutrofização de água doce (EAD) e eutrofização marinha (EM), com uma contribuição de 99,8% e 98,8%. Para a ecotoxicidade de água doce (ETAD) observa-se uma contribuição de 95,7% e para a ecotoxicidade marinha (ETM) 91,6%. Também existe uma elevada contribuição na categoria de depleção da camada de ozono (DCO) e depleção de combustíveis fósseis (DCF), com percentagens de 76,9% e 78,6%, respetivamente.

Tanto a etapa de Distribuição como a de Drenagem de Águas Residuais apresentam uma contribuição muito inferior às duas anteriormente analisadas. Destaca-se apenas uma grande contribuição na categoria de depleção de recursos minerais (DM), com 22,4% para a Distribuição e 29,7% para a Drenagem de Águas Residuais, devido, principalmente, à produção da tubagem em ferro fundido. Para além desta categoria, as maiores contribuições ocorrem na depleção de água (DA), toxicidade humana (TH), radiação ionizante (RI) e ecotoxicidade terrestre (ET).

Por fim, os Serviços Administrativos também apresentam pouco impacto nas categorias analisadas. A maior contribuição acontece para a categoria de formação de oxidantes fotoquímicos,

cerca de 5,3%, bem como a acidificação terrestre (AT) com 3,5% e as alterações climáticas (AC) com 3,6%.

Como os estudos analisados no subcapítulo 2.4.4 apresentam diferentes metodologias (apenas um utilizou a metodologia ReCiPe adotada na presente dissertação) e inventários, não é possível realizar uma comparação direta. Porém, ao analisar a contribuição relativa de cada etapa, verifica-se que os estudos são bastante semelhantes entre si, demonstrando que a aplicação de metodologias diferentes conduz a conclusões semelhantes.

Na Tabela 49 é apresentada informação relativa aos dados obtidos na presente dissertação e em 4 dos estudos apresentados no subcapítulo 2.2.4. Apesar de ter sido utilizada a metodologia ReCiPe na presente dissertação e por Lemos *et al.*, (2013) e a metodologia CML-IA nos restantes estudos, algumas categorias são semelhantes nas duas metodologias. Desta forma, foi analisada a contribuição relativa no impacto total destas categorias, nomeadamente: alterações climáticas (AC), depleção da camada de ozono (DCO), acidificação (terrestre e potencial), toxicidade humana (TH), ecotoxicidade (marinha e terrestre) e, por fim, a formação de oxidantes fotoquímicos (FOF). Desta forma é apresentada a menor e maior percentagem observada em cada etapa do sistema, segundo a análise das categorias de impacto mencionadas.

**Tabela 49** - Percentagem relativa da contribuição no impacto total. Análise Comparativa com a bibliografia

|                                     | Presente<br>Dissertação | Lemos <i>et al.</i> ,<br>(2013) | Amores <i>et al.</i> , (2013) | Barjoveanu <i>et al.</i> , (2013) | Friedrich <i>et al.</i> ,<br>(2009) |
|-------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Captação e Tratamento de água (ETA) | 20 – 62,9%              | 39 – 45%                        | 10 – 36%                      | 22 – 48%                          | 20 – 24%                            |
| Distribuição de Água                | 1,4 – 2,8%              | 20 – 25%                        | 25 – 42%                      | 30 – 50%                          | 33 – 48%                            |
| Drenagem de Águas Residuais         | 0,7 – 3,4%              |                                 | 0,5 – 4%                      | 4 – 8%                            | 7 – 15%                             |
| Tratamento de Águas Residuais       | 31,2 – 40%              | 29 – 38%                        | 15 – 32%                      | 14 – 40%                          | 23 – 33%                            |
| Serviços Administrativos            | 0,1 – 5,3%              | 0,1 – 4%                        | -                             | -                                 | -                                   |

Face aos resultados obtidos na Figura 28 e os dados apresentados na Tabela 49, observa-se que a principal diferença corresponde à contribuição a nível da Distribuição de Água, relativamente aos estudos analisados. No estudo de Lemos *et al.*, (2013), a Distribuição de Água e a Drenagem de Águas Residuais foram analisadas em conjunto e contribuíram com 20 a 25% do impacto total. No estudo de Amores *et al.*, (2013) verificaram-se contribuições entre 25 a 42% para a Distribuição e uma contribuição muito pequena, entre 0,5% e 4% para a Drenagem de Águas Residuais, sendo que os resultados desta última etapa se assemelham aos obtidos neste trabalho. No estudo de Barjoveanu *et al.*, (2013) a Distribuição de Água apresentou uma contribuição desde 30% até 50% e a Drenagem de Águas Residuais entre os 4% e 8%.

Assim, conclui-se que os valores da etapa de Distribuição de Água são bastante superiores aos obtidos no presente estudo, onde se verificou uma contribuição entre 1,4 e 2,8%, devido ao menor consumo elétrico verificado, relativamente aos restantes estudos. Isto pode ser confirmado através da observação da Tabela 50, onde é apresentado o consumo elétrico em kWh/UF de cada estudo e em cada etapa do sistema.

Uma justificação para esta diferença na etapa de Distribuição deve-se principalmente ao consumo elétrico que se verifica, dependendo também das condições locais, como distâncias e topografia.

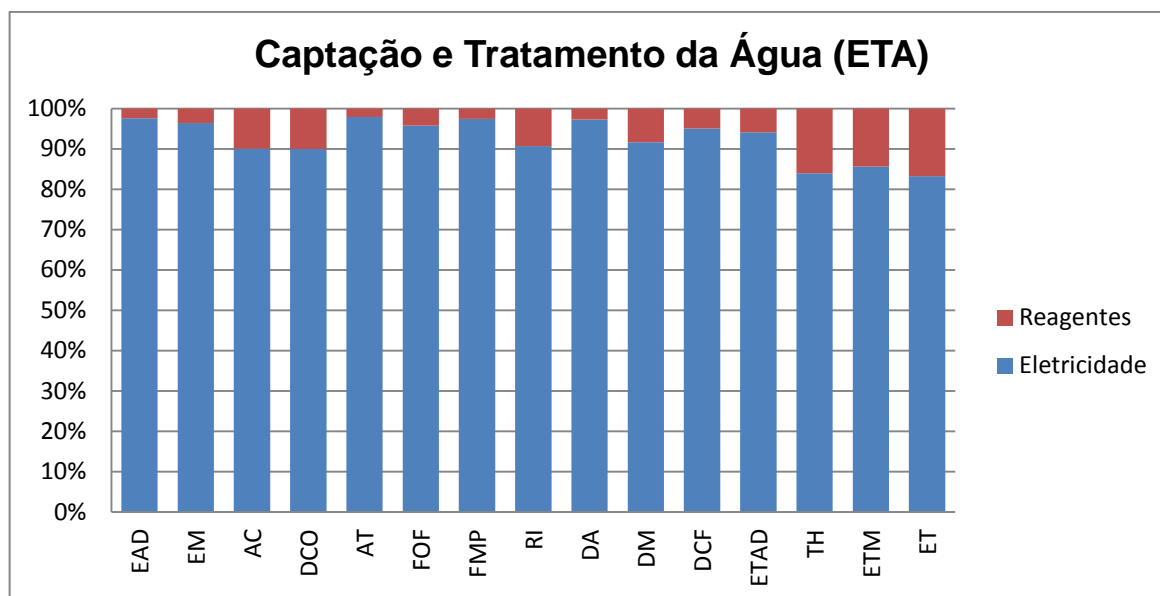
**Tabela 50** - Consumo Elétrico em cada etapa (kWh/UF). Análise comparativa com a bibliografia

|                                     | Presente<br>Dissertação | Lemos <i>et al.</i> ,<br><i>et al.</i> , (2013) | Amores <i>et al.</i> ,<br>(2013) | Barjoveanu<br><i>et al.</i> , (2013) | Friedrich <i>et al.</i> ,<br>(2009) |
|-------------------------------------|-------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Captação e Tratamento de água (ETA) | 1,00                    | 0,88  | 0,44                             | 0,07                                 | 0,12                                |
| Distribuição de Água                | 0,02                    | 0,21  | 0,58                             | 0,45                                 | 0,14                                |
| Drenagem de Águas Residuais         | 0,01                    | 0,21  | 0,00                             | 0,04                                 | 0,14                                |
| Tratamento de Águas Residuais       | 0,79                    | 0,73  | 1,09                             | 0,14                                 | 0,26                                |
| Serviços Administrativos            | 0,04                    | 0,02  | -                                | -                                    | -                                   |

### 5.1.2 Análise detalhada de cada etapa em 2015

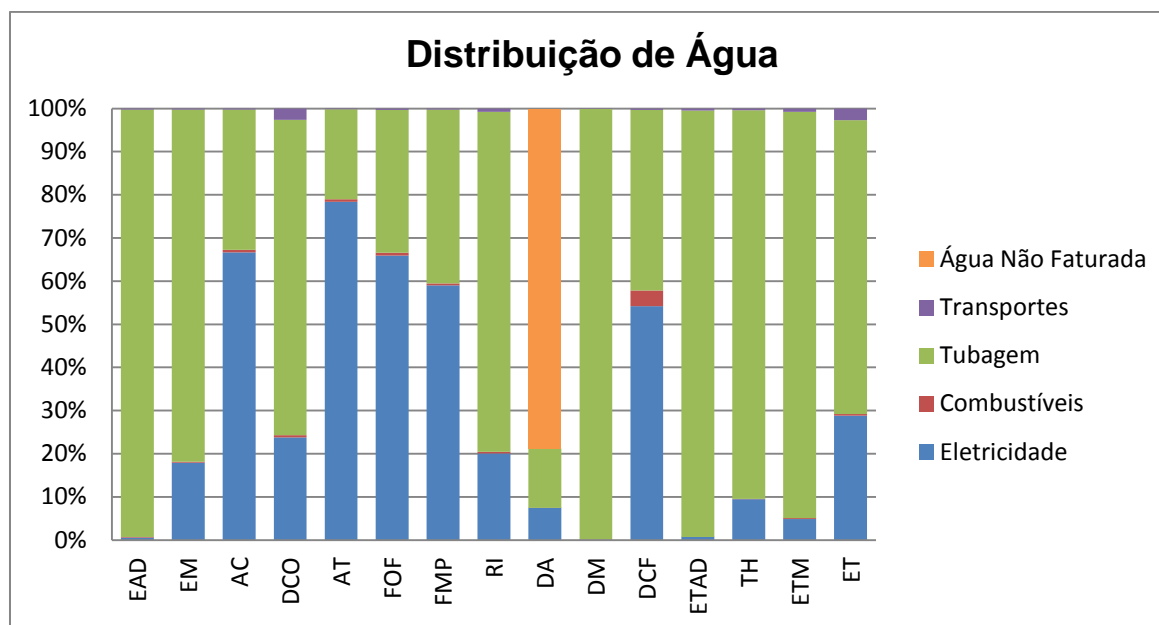
Após a análise da contribuição de cada etapa no impacto total, torna-se essencial analisar cada etapa de forma mais detalhada, de forma a identificar quais os principais componentes analisados que têm maior contribuição no impacto de cada etapa.

Analisando a Captação e Tratamento de Água na ETA de Lever, observando a Figura 29, verifica-se que o consumo elétrico é o que mais contribui para todas as categorias de impacto, apresentando uma contribuição entre 83% a 98%, enquanto que os reagentes apenas de 2% a 17%. De referir que caso fossem incluídos os combustíveis dos veículos e o transportes dos reagentes, o impacto total desta etapa seria superior. Estes não foram incluídos por não haver informação.



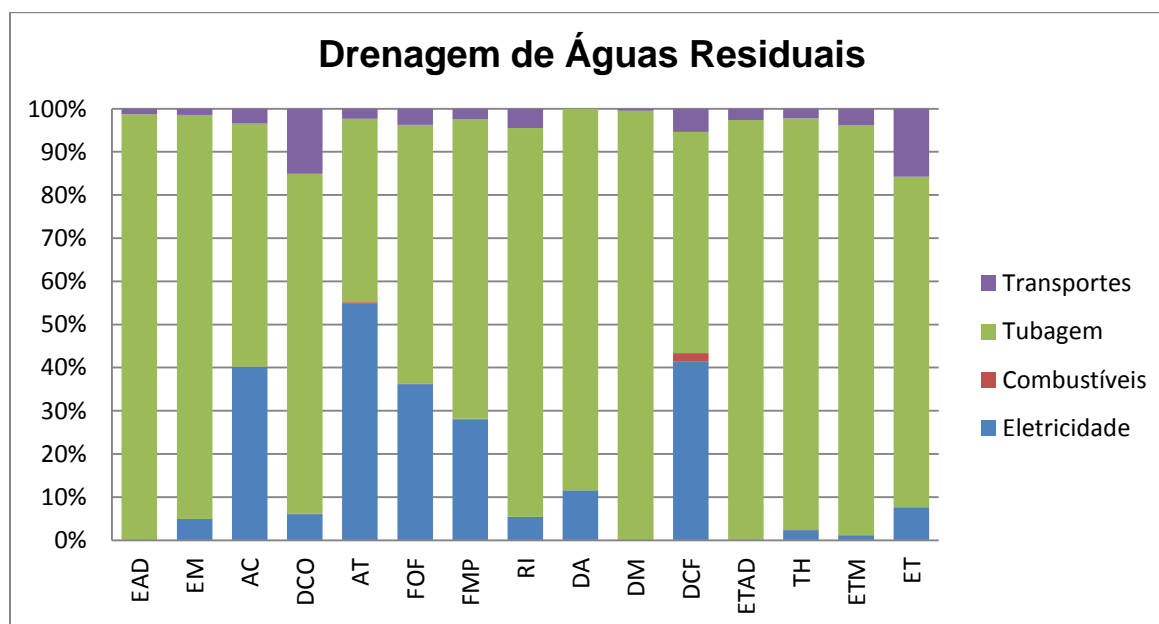
**Figura 29** - Resultados da captação e tratamento da água

De seguida é analisada a etapa de Distribuição de Água, apresentando a contribuição de cada elemento na Figura 30. Constata-se que dos 5 elementos considerados nesta etapa, são a eletricidade e a produção da tubagem que apresentam maior impacto. A eletricidade apresenta maior percentagem nas categorias de acidificação terrestre (AT) com 78,4%, alterações climáticas (AC) com 66,7%, formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 66%, formação de material particulado (FMP) com 59,1% e depleção de combustíveis fósseis (DCF) com 54,2%. A produção da tubagem apresenta 6 categorias com contribuição acima de 90%, nomeadamente a eutrofização de água doce (EAD) com 99,1%, depleção de recursos minerais (DM) com 99,8%, ecotoxicidade de água doce (ETAD) com 98,8 %, toxicidade humana (TH) com 90,1 % e ecotoxicidade marinha (ETM) com 94,2%. A água não faturada contribui com 78,8% para a depleção de água. Tanto o transporte da tubagem como o uso de combustível apresentam pouca contribuição. Para os combustíveis, assinala-se um ligeiro contributo, de 3,6%, na categoria de depleção de combustíveis fósseis. De forma similar, os transportes apresentam uma contribuição de 2,6% na depleção da camada de ozono (DCO) e na ecotoxicidade terrestre (ET).



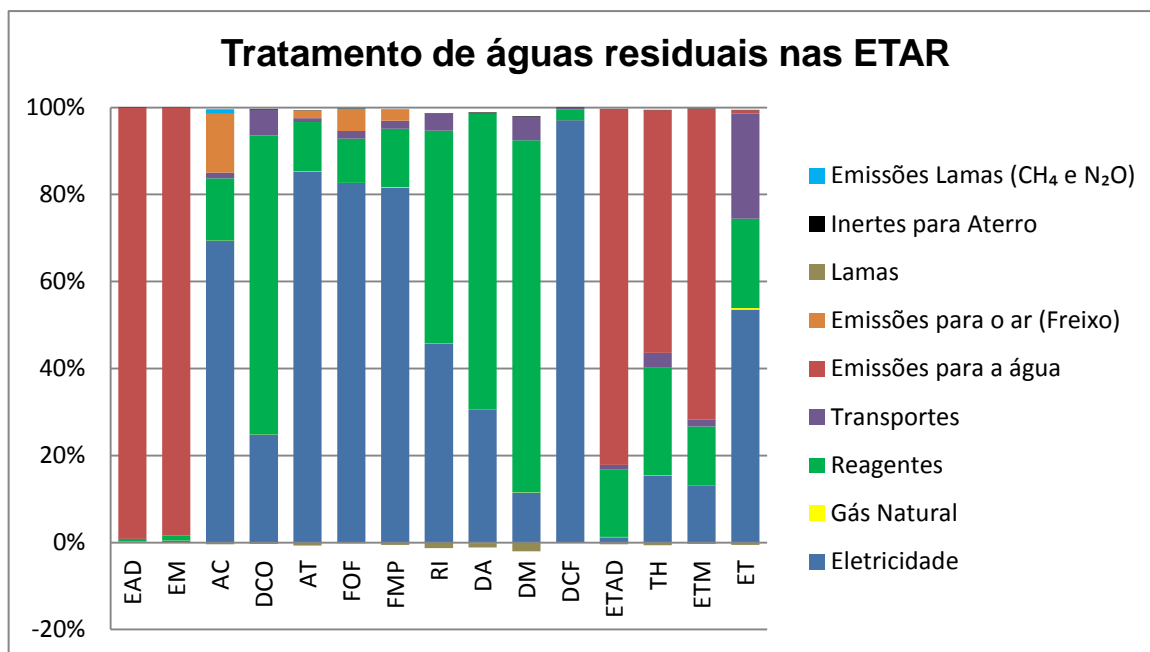
**Figura 30 - Resultados da Distribuição de Água**

A etapa seguinte corresponde à Drenagem das Águas Residuais. Como se observa na Figura 31, a eletricidade e a produção da tubagem apresentam, mais uma vez, a maior contribuição. De forma similar à distribuição de água, considerando todas as categorias analisadas, a eletricidade apresenta uma contribuição mais acentuada em 5 categorias, nomeadamente nas alterações climáticas (AC), acidificação terrestre (AT), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), formação de material particulado (FMP) e depleção de combustíveis fósseis (DCF). Porém, em termos de percentagem de contribuição, o impacto é menor do que a produção de tubagem, uma vez que nesta etapa se consome menos eletricidade do que na Distribuição de Água. Os transportes já apresentam uma contribuição maior do que na Distribuição de Água devido à maior quantidade de tubagem instalada: apresentam uma contribuição de 15,1% na categoria de depleção da camada de ozono (DCO) e 15,8% na ecotoxicidade terrestre (ET).



**Figura 31 - Resultados da Drenagem de Águas Residuais**

Na Figura 32 estão apresentados os resultados da etapa de Tratamento de Águas Residuais, correspondendo aos impactes totais das duas ETAR. É perceptível a elevada contribuição da eletricidade na maioria das categorias, bem como dos reagentes e das emissões para a água. Verifica-se que as emissões para a água contribuem principalmente em 5 categorias, nomeadamente a eutrofização de água doce (EAD), eutrofização marinha (EM), ecotoxicidade de água doce (ETAD), toxicidade humana (TH) e ecotoxicidade Marinha (ETM). A eletricidade apresenta uma contribuição acima de 80% em 4 categorias: acidificação terrestre (AT), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), formação de material particulado (FMP) e depleção de combustíveis fósseis (DCF).



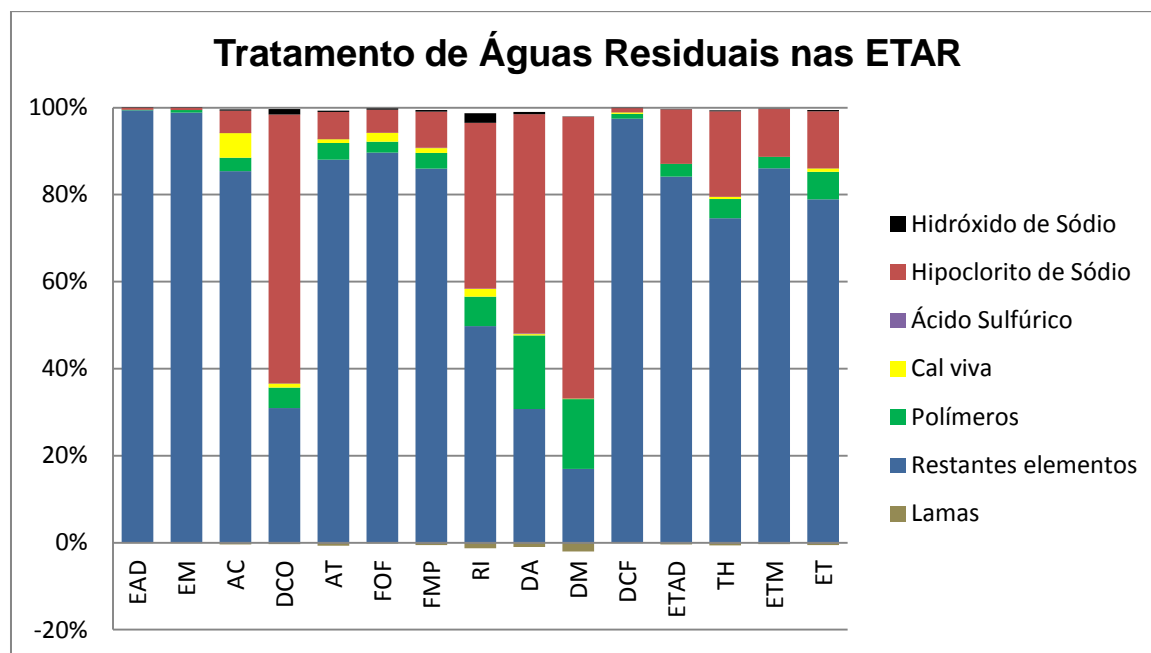
**Figura 32 - Resultados do Tratamento de Águas Residuais**

As emissões para o ar da ETAR do Freixo contribuem para 4 categorias, nomeadamente para as alterações climáticas (AC) com 13,8%, a acidificação terrestre (AT) com 1,8%, a formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 5,2% e a formação de material particulado (FMP) com 2,5%. O gás natural apresenta, tal como os inertes depositados em aterro, muito pouca contribuição em todas as categorias.

Os transportes dos reagentes, bem como dos resíduos gerados, contribuem principalmente em 4 categorias, nomeadamente na depleção da camada de ozono (DCO), na radiação ionizante (RI), na depleção de minerais (DM) e com uma expressão mais significativa na ecotoxicidade terrestre (ET) com uma percentagem de 24,5%.

Como as lamas ao serem utilizadas na agricultura previnem a produção de fertilizantes sintéticos, verifica-se a presença de valores negativos, o que corresponde a um benefício ambiental. De referir que esta contribuição, em 2015, se deveu apenas à ETAR do Freixo, visto que só esta apresentou lamas encaminhadas para valorização agrícola (R10). Este benefício é mais acentuado nas categorias radiação ionizante (RI) com 1,3%, depleção de água (DA) com 1% e depleção de recursos minerais (DM) com 2,1%. Porém, da aplicação das lamas, foram consideradas as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, dois gases com efeito de estufa, que se traduzem numa contribuição de 0,9% nas alterações climáticas (AC) e 0,05% na formação de oxidantes fotoquímicos (FOF).

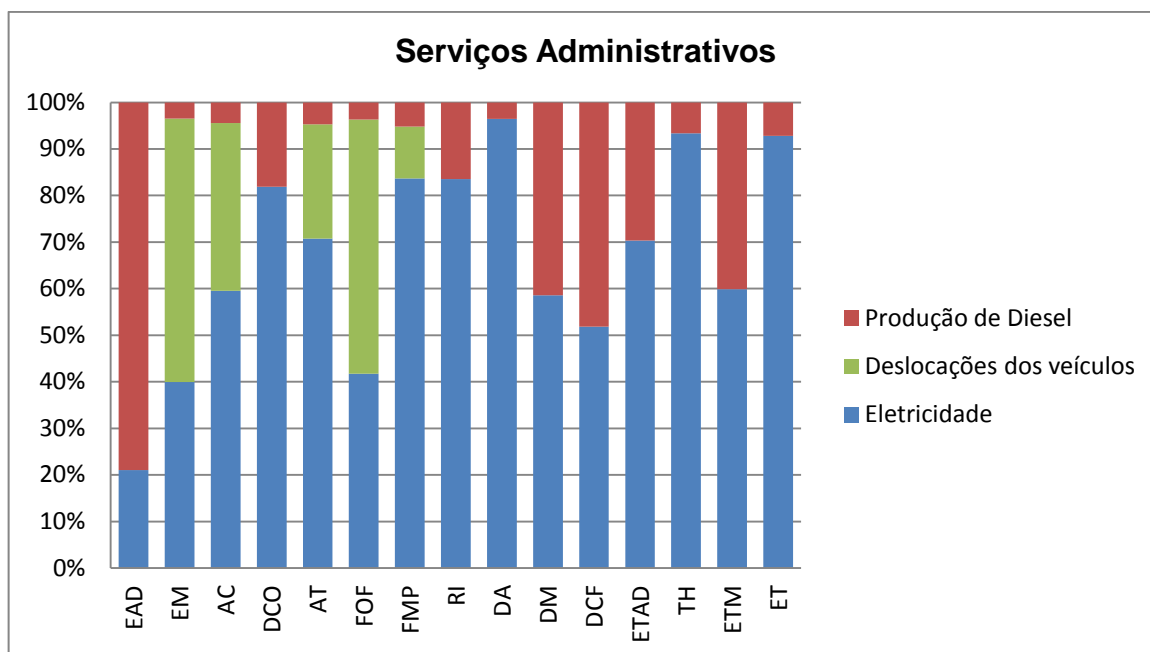
Uma vez que os reagentes apresentam uma elevada contribuição, é interessante analisar quais deles têm maior influência no resultado total dos reagentes, bem como no resultado total desta etapa. Desta forma, observando a Figura 33, verifica-se que o hipoclorito de sódio é principal contribuidor, seguido dos polímeros. Ao analisar as quantidades utilizadas, verifica-se que em 2015 foram utilizados 478.560 kg de hipoclorito, 432.000 kg de cal viva e 45.700 kg polímeros. Comparando as quantidades utilizadas com os resultados da Figura 33, conclui-se que apesar da cal viva ser a segunda mais utilizada em termos de quantidade, a sua produção apresenta menor impacto do que os polímeros.



**Figura 33** - Análise da contribuição de cada reagente no impacto total dos reagentes

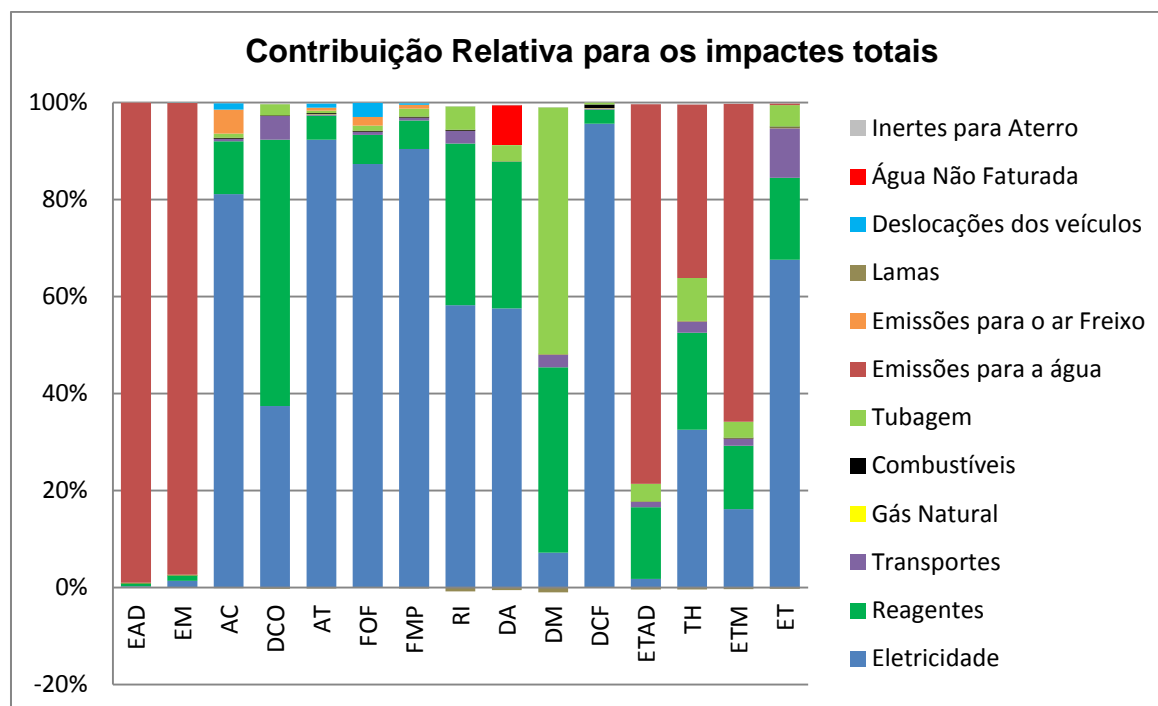
A última etapa analisada consiste nos Serviços Administrativos, na qual são incluídas a eletricidade utilizada na sede da empresa, a produção de diesel para utilização nos automóveis e as emissões decorrentes da sua utilização. Analisando a Figura 34 verifica-se que a eletricidade é o principal contribuidor em praticamente todas as categorias de impacto. A produção de diesel apresenta maior impacto na categoria de eutrofização de água doce (EAD) com 79%, na depleção de recursos minerais (DM) com 41,4%, na depleção de combustíveis fósseis (DCF) com 48,2%, ecotoxicidade de água doce (ETAD) com 29,7% e, por fim, a ecotoxicidade marinha (ETM) com 40,1 %. As emissões resultantes das deslocações dos veículos contribuem para 5 categorias, nomeadamente a eutrofização marinha (EM) com 56,6%, as alterações climáticas (AC) com 36%, a acidificação terrestre (AT) com 24,6%, a formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 54,6% e, por fim, a formação de material particulado (FMP) com 11,2%.





**Figura 34 - Resultados dos serviços administrativos**

Por fim, é apresentada a contribuição relativa de cada elemento considerado, no impacte total do sistema, como se observa na Figura 35. Conclui-se que a eletricidade é o principal contribuidor na maioria das categorias, indo ao encontro do concluído nos estudos analisados no subcapítulo 2.4.4, que também identificaram a eletricidade como o principal componente. É de salientar a contribuição dos reagentes utilizados, principalmente na etapa de Tratamento de Águas Residuais. Estes apresentam maior contribuição nas categorias de depleção da camada de ozono (DCO) com 55,2%, radiação ionizante (RI) com 33,8%, depleção de água (DA) com 30,5% e depleção de recursos minerais (DM) com 39%. A produção da tubagem apresenta elevada contribuição na categoria de depleção de recursos minerais (DM), com 51,9%, devido principalmente à tubagem de ferro fundido. Como já foi referido as emissões para a água das duas ETAR são mais notórias em 5 das 15 categorias analisadas.



**Figura 35** - Contribuição relativa de cada elemento no impacto total do sistema em 2015

## 5.2 Histórico da evolução da ecoeficiência e dos resultados de ACV

De forma a estudar a evolução temporal da ecoeficiência, desde 2007 até 2015, foi aplicada para cada ano a mesma metodologia adotada no ano de 2015, pelo que foi recolhido o inventário anual dos mesmos componentes incluídos neste ano e utilizado o volume de negócios de cada ano, como indicador económico. Mais uma vez realça-se que o ano 2006 é aqui analisado apenas na Avaliação do Ciclo de Vida, não a nível da ecoeficiência, devido ao indicador económico muito inferior para este ano.

Para as emissões das ETAR, tanto para a água quer para o ar, bem como os resíduos gerados, apenas foi possível recolher dados a partir de 2010. Assim, entre 2006 e 2009 foi utilizada uma média dos dados entre 2010 e 2014, ou seja, é realizada uma estimativa. As emissões apresentam uma variabilidade significativa em cada ano, dependendo de alguns fatores, tais como por exemplo a precipitação ocorrida e qualidade dos efluentes à entrada das ETAR. Desta forma, especialmente para as categorias onde as emissões para a água são o principal contribuidor, há que ter em consideração a existência de uma margem de erro nos resultados obtidos, decorrentes da estimativa realizada.

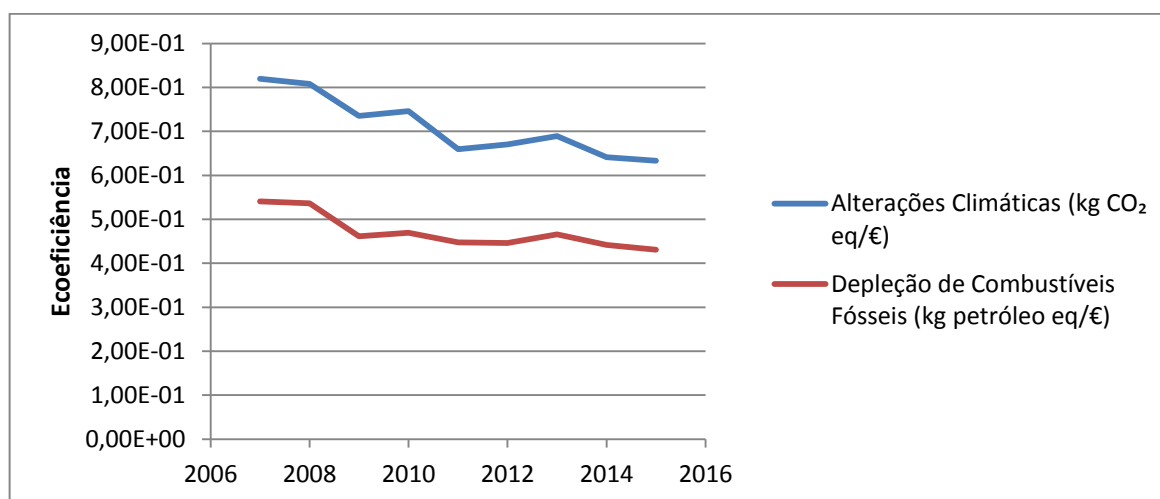
A ETAR de Sobreiras apenas consome gás natural desde 2012, pelo que nos anos anteriores não se incluiu o seu consumo. Ainda para esta ETAR, de 2006 a 2009 é incluído o consumo de ácido clorídrico para desodorização, uma vez que nesses anos ainda era utilizado.

Os resultados de Avaliação do Ciclo de Vida e Avaliação da Ecoeficiência do sistema total, obtidos para cada ano, encontram-se no Anexo 6. Os resultados de cada etapa encontram-se desde o Anexo 7 até ao Anexo 12, sendo aqui expostos apenas alguns resultados mais relevantes.

### 5.2.1 Evolução da ecoeficiência

Após a análise dos principais resultados da Avaliação do Ciclo de Vida, é possível avaliar a evolução da ecoeficiência entre 2007 e 2015. Lembra-se que quanto mais próximo de zero o resultado, maior a ecoeficiência, uma vez que optou-se pela razão entre os impactos ambientais e o indicador económico.

Iniciando pela avaliação das categorias de alterações climáticas (AC) e depleção de combustíveis fósseis (DCF), os resultados assemelham-se aos obtidos na Avaliação de Ciclo de Vida. Desta forma, é visível na Figura 36 a melhoria da ecoeficiência nestas duas categorias, sendo que para as alterações climáticas o valor em 2007 se cifrava em 0,82 kg CO<sub>2</sub>/ € de volume de negócios passando para 0,63 kg CO<sub>2</sub>/ € de volume de negócios, correspondendo a uma redução de 22,7%. Já a depleção de combustíveis fósseis passou de 0,54 kg petróleo eq/€ de volume de negócios para 0,43 kg petróleo eq/€ de volume de negócios, representando uma redução de 20,4%. Estas duas categorias são principalmente afetadas pela eletricidade, cujo consumo diminuiu devido ao Projeto Porto Gravítico.

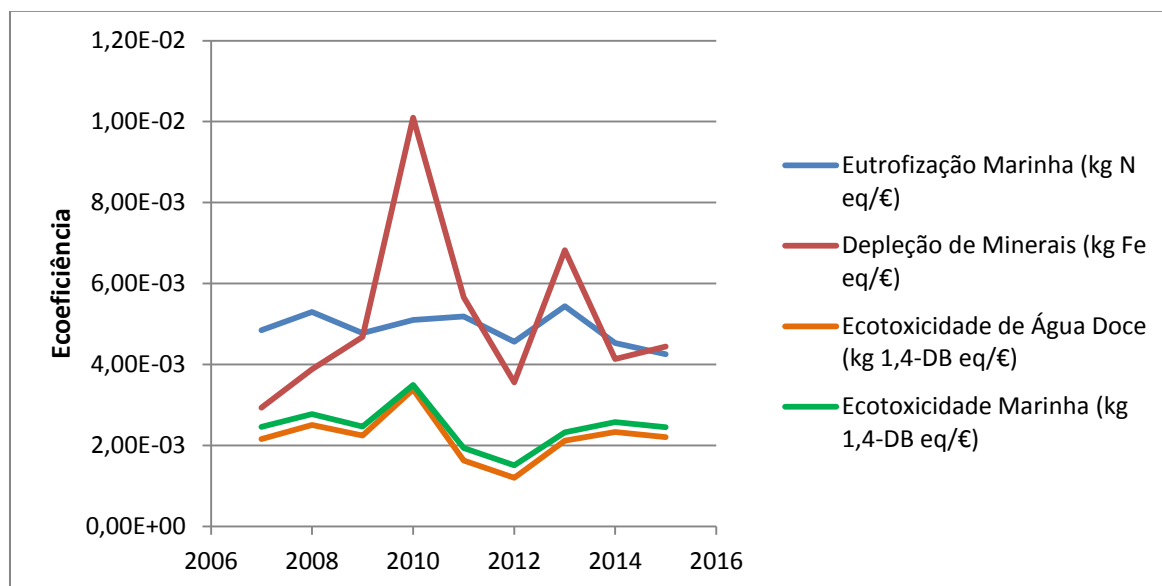


**Figura 36** - Evolução temporal da ecoeficiência nas categorias de AC e DCF

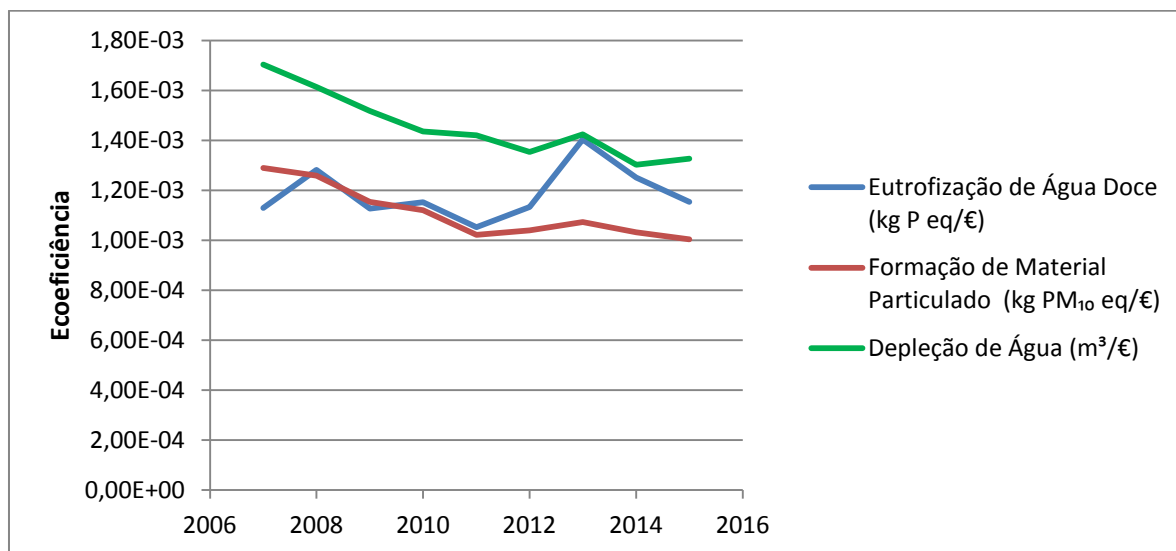
Na Figura 37 são apresentadas 4 categorias, sendo que as emissões para a água das duas ETAR são a principal contribuição de 3 dessas categorias, nomeadamente a eutrofização marinha (EM), a ecotoxicidade de água doce (ETAD) e a ecotoxicidade marinha (ETM). A depleção de minerais tem a produção da tubagem e dos reagentes como principais contribuidores. Relativamente à depleção de minerais, verifica-se em 2010 o maior valor, de 0,01 kg Fe/ €, bem como um valor próximo no ano de 2013 com 0,007 kg Fe/€. Isto porque estes dois anos foram os mais intensivos em termos de aplicação de tubagem, principalmente de ferro fundido dúctil. Nas restantes 3 categorias, uma vez que foi realizada uma média para as emissões das duas ETAR entre 2007 e 2009, tal reflete-se nos resultados, pela pouca variação existente entre estes anos. Nas categorias de ecotoxicidade de água doce (ETAD) e ecotoxicidade marinha (ETM) o comportamento é semelhante, existindo uma maior variação entre 2010 e 2012. Nestas duas categorias os principais contribuidores são o níquel e o cobre na água.

Na Figura 38 estão apresentadas as categorias de eutrofização de água doce (EAD), formação de material particulado (FMP) e a depleção de água (DA). Relativamente à eutrofização de água doce (EAD) verifica-se um aumento de 2,1% relativamente a 2007, devido à maior quantidade de fósforo presente no efluente. Porém, como para as emissões entre 2007 e 2009 foi realizada uma estimativa, existe algum erro associado. Em 2013 verificou-se o valor mais elevado nesta categoria, tendo sido o

ano com maior quantidade de fósforo no efluente. A formação de material particulado apresentou uma melhoria de 22,1%, estando associado principalmente à diminuição do consumo elétrico. Já a categoria de depleção de água apresenta uma melhoria de 21,2%, devido principalmente à redução da água não faturada e do consumo elétrico.



**Figura 37** - Evolução temporal da ecoeficiência nas categorias de EM, DM, ETAD e ETM



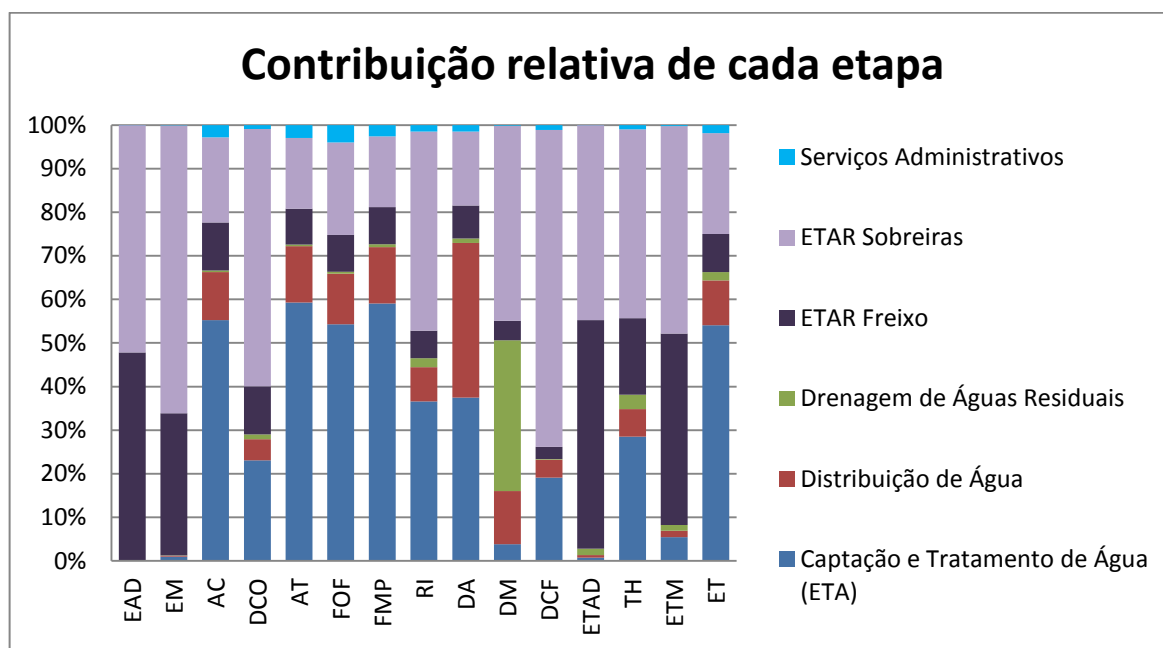
**Figura 38** – Evolução temporal da ecoeficiência nas categorias de EAD, FMP e DA

As restantes 6 categorias também verificaram melhorias, nomeadamente 22,1% na acidificação terrestre (AT), 21,9% na formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), cerca de 8,6% na radiação ionizante (RI), 11% na toxicidade humana (TH), 7,7% na depleção da camada de ozono (DCO) e, por fim, 17,5% na ecotoxicidade terrestre (ET).

### 5.2.2 Efeito do consumo elétrico e produção da tubagem na Distribuição e Drenagem

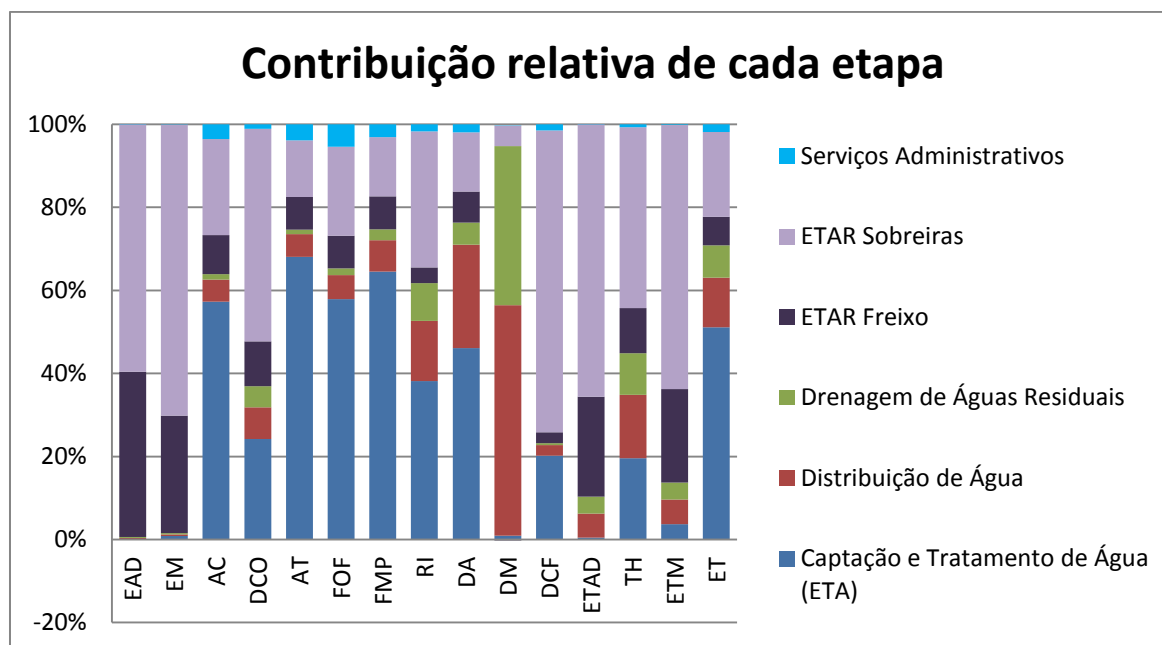
Uma vez que as etapas de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais apresentaram uma contribuição reduzida no impacto total, foi analisada a evolução destas duas etapas de forma a perceber se este tipo de comportamento sempre se verificou. O consumo elétrico e a produção da tubagem apresentam a maior contribuição nestas etapas, pelo que analisando os vários anos, conclui-se que o ano de 2006 corresponde ao ano com maior consumo elétrico na etapa de distribuição e o ano de 2010 apresentou a maior atividade de instalação de tubagem, para reabilitação tanto na rede de Distribuição como na rede de Drenagem de Águas Residuais. O ano de 2013 foi o segundo ano com maior colocação de tubagem na etapa de Distribuição.

Assim, observando a Figura 39, onde são apresentados os resultados de ACV do sistema em 2006, verifica-se uma maior contribuição da etapa de Distribuição de água do que nos resultados de 2015, exceto para a categoria de depleção de minerais (DM). Isto porque nesse ano, o consumo elétrico na Distribuição de água se situava em 4.566.771 kWh, enquanto que em 2015 apenas foram consumidos 291.105 kWh, verificando-se assim uma redução de 93,6 %. Lembra-se que esta diminuição drástica do consumo elétrico é devida à implementação do Projeto Porto Gravítico.



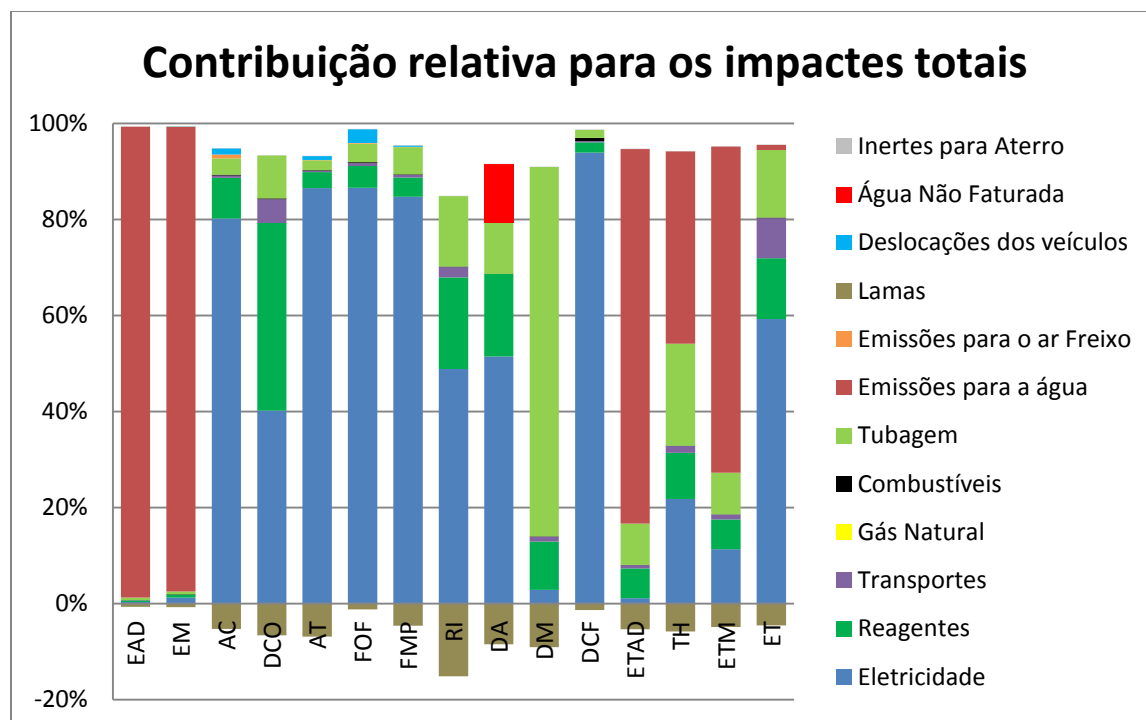
**Figura 39** - Resultados ACV do sistema total com contribuição de cada ETAR em 2006

Analisando a Figura 40, referente a 2010, observa-se a elevada contribuição das etapas de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais, quando comparado com o ano de 2015. Em 2010 foram instalados 46.540 metros lineares de tubagem na Distribuição de Água e 14.240 metros lineares na Drenagem de Águas Residuais, valores superiores aos de 2015, onde se verificou a instalação de 8.366 metros lineares e 4.927 metros lineares, respetivamente. Há que referir que esta aplicação de tubagem permite reduzir as perdas de água, o que beneficia os anos seguintes em termos de ecoeficiência, visto que é comprada menos água à Águas do Norte S.A. e consequentemente é diminuído consumo de eletricidade e reagentes no tratamento da água. Desta forma, verifica-se a grande diminuição das perdas de água, passando de 52,4% em 2006, para 20,2% em 2015.



**Figura 40** - Resultados ACV do sistema total com contribuição de cada ETAR em 2010

Outra justificação para os resultados apresentados na Figura 40 deve-se ao facto de, em 2010, a quantidade de lamas encaminhadas para valorização agrícola ter sido muito superior a 2015. Em 2015 apenas 295.322 kg de lamas foram encaminhadas para valorização agrícola, da ETAR do Freixo. Já em 2010 foram encaminhados 2.668.523 kg da ETAR do Freixo e 11.453.000 kg da ETAR de Sobreiras. É possível observar na Figura 41 os benefícios decorrentes da valorização das lamas, em 2010, prevenindo a produção de fertilizantes sintéticos.



**Figura 41** - Contribuição relativa de cada elemento no impacto total do sistema em 2010

### 5.2.3 Evolução dos impactes do consumo elétrico

Sendo a eletricidade o principal contribuidor na maioria das categorias, nos resultados de 2015, convém analisar a sua evolução. Tal como se observa na Figura 35, a eletricidade apresenta maior contribuição em 8 categorias, nomeadamente as alterações climáticas (AC), acidificação terrestre (AT), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), formação de material particulado (FMP), depleção de combustíveis fósseis (DCF), radiação ionizante (RI), depleção de água (DA) e ecotoxicidade terrestre (ET). Desta forma, para analisar a evolução do consumo elétrico entre 2006 e 2015, são apresentadas, a título de exemplo, 2 destas categorias, nomeadamente as alterações climáticas (AC) e a depleção de combustíveis fósseis (DCF). As outras 3 categorias apresentam praticamente o mesmo perfil de evolução. É importante salientar que apesar destas categorias estarem no mesmo gráfico, a intenção não é comparar entre cada categoria, visto que tal não é possível, uma vez que cada uma apresenta unidades diferentes, pelo que apenas se pretende avaliar a evolução ao longo do tempo.

Analizando primeiro a evolução a nível do sistema completo, observa-se na Figura 42 uma diminuição nas duas categorias, decorrentes da diminuição do consumo elétrico, sendo esta descida mais acentuada entre 2006 e 2011 para as alterações climáticas (AC) e entre 2006 e 2009 para a depleção de combustíveis fósseis (DCF). O ligeiro aumento que se verifica em 2013 é devido principalmente à maior emissão para o ar de CO<sub>2</sub> da ETAR do Freixo, tendo sido o ano onde ocorreu maior emissão deste componente. Enquanto que em 2012 foram emitidos, nesta ETAR, 377.236 kg CO<sub>2</sub>, em 2013 foram emitidos 1.791.904 kg CO<sub>2</sub>. Estes valores são referentes apenas ao caudal proveniente do Porto, ou seja, excluindo a água do intercetor do Rio Torto.

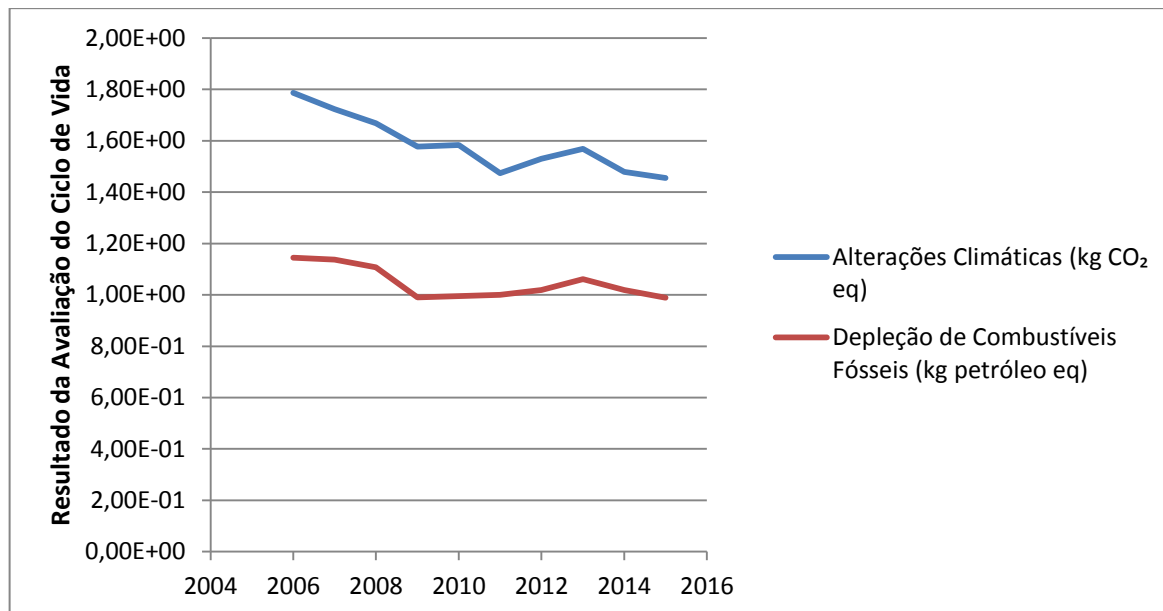


Figura 42 - Evolução temporal da AC e DCF no impacto total

A principal justificação para a descida nos primeiros anos é devida ao Projeto Porto Gravítico, que permitiu reduzir o consumo elétrico na etapa de Distribuição de Água, tal como se observa pela Figura 43, que demonstra os benefícios decorrentes deste projeto.

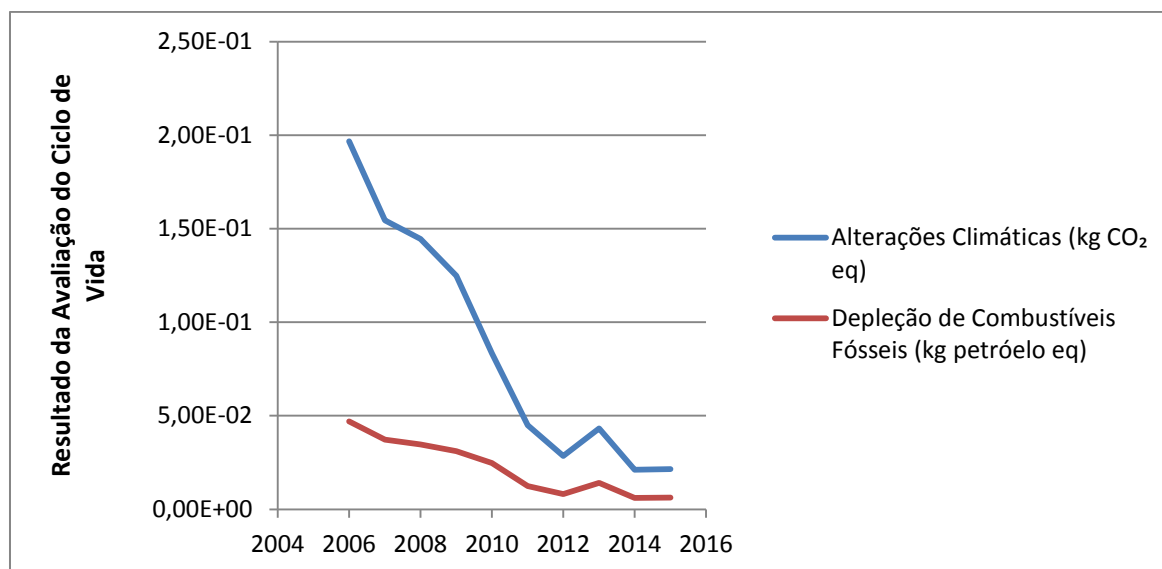


Figura 43 – Evolução temporal da AC e DCF na Distribuição de Água

#### 5.2.4 Redução de perdas na melhoria da ecoeficiência

Tal como já foi referido, a aplicação de tubagem na renovação da rede de distribuição permite reduzir as perdas de água, o que beneficia os anos seguintes em termos de ecoeficiência. Na Figura 44 são apresentadas, a título de exemplo, 3 categorias na etapa de Captação e Tratamento de Água. Visto que a eletricidade é o principal contribuidor desta etapa, todas as categorias estudadas nesta etapa apresentam um comportamento semelhante a nível de evolução da ecoeficiência.

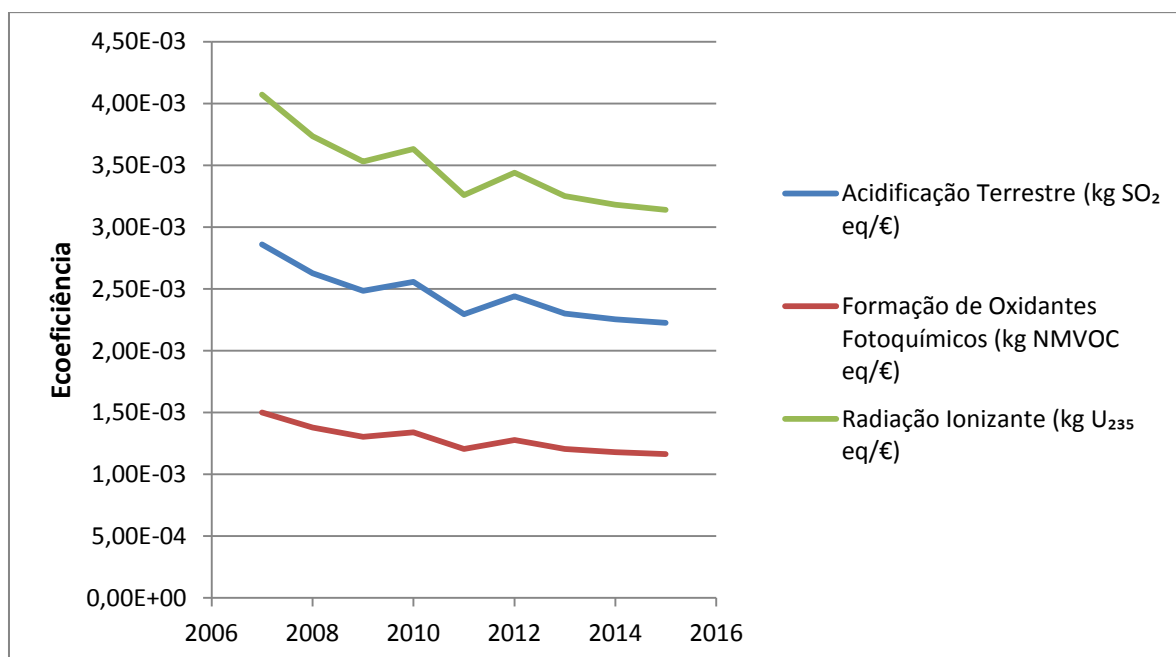


Figura 44 - Evolução temporal da AT, FOF e RI na Captação e Tratamento de Água



## 6 MEDIDAS A IMPLEMENTAR PARA A MELHORIA DA ECOEFICIÊNCIA

Uma vez identificada a eletricidade como o principal componente para os impactes ambientais, bem como a importância da redução de perdas, é relevante estudar a influência de várias opções de melhoria na ecoeficiência do sistema em análise. Assim, foram analisados cenários que incluem medidas que a empresa pretende implementar, mais concretamente a substituição de parte da frota de veículos por carros elétricos, a instalação de painéis solares nas duas ETAR e na sede da empresa, a aplicação de um sistema de cogeração na ETAR do Freixo, bem como o efeito da redução das perdas de 20,2% (valor em 2015) para 19,2% (valor verificado em 2016). Foi avaliada a hipótese de uma redução de perdas para 15%, bem como uma solução de aplicação conjunta dos painéis solares e cogeração. Desta forma, utilizando o ano de 2015 como referência, foram alterados alguns dados de inventário, de forma a simular cada um dos cenários.

### 6.1 Carros Elétricos

De forma a analisar este cenário, foi consultada informação relativa a carros elétricos existentes no mercado. Na Tabela 51 estão apresentados 3 exemplos, sendo que os 2 Renault estão a ser ponderados pela empresa.

**Tabela 51** - Informações relativas a carros elétricos

|                                     | Consumo kWh/km | Motor (kW) | Autonomia (km) | Preço (€) |
|-------------------------------------|----------------|------------|----------------|-----------|
| Nissan Leaf BEV (Nissan, 2016)      | 0,150          | 80         | 250            | 30.365    |
| Renault Zoe (Renault, 2013)         | 0,146          | 65         | 135            | 21.750    |
| Renault Kangoo Z.E. (Renault, 2011) | 0,155          | 44         | 130            | 20.300    |

Como se pode observar na Tabela 51, os consumos por kWh/km estão bastante próximos, na ordem de 0,15 kWh/km. Os benefícios ambientais deste tipo de medida passam pela utilização de eletricidade em vez de combustíveis fósseis, durante o seu uso, reduzindo assim as emissões diretas dos veículos para a atmosfera. Na produção de eletricidade ainda são utilizados combustíveis fósseis, mas se for considerada a crescente parcela das energias renováveis na sua produção nos últimos anos, os impactes são muito menores. Através da utilização de energias renováveis para o recarregamento dos veículos, por exemplo utilizando energia solar, não existe qualquer impacto negativo no ambiente.

Em termos de desvantagens, a bateria só permite percorrer uma determinada distância, sendo necessário proceder ao seu recarregamento. Apesar dos preços de venda ainda serem bastante elevados, a nível de custos de operação, os carros elétricos são menos dispendiosos. Enquanto que o custo de um carro elétrico anda à volta de 1,6€/100 km, os carros a diesel, que utilizam entre 7L a 9L de diesel para percorrer essa mesma distância, rondam os 8€/100 km.

Para avaliar este cenário, foi retirado do inventário de 2015 da etapa de Serviços Administrativos o consumo de diesel dos carros substituídos, bem como as emissões para o ar associadas às suas deslocações.

## 6.2 Painéis Solares

Foi consultado um estudo realizado pelo Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI), referente à aplicação de painéis solares na ETAR do Freixo, na ETAR de Sobreiras e na sede da empresa. Foi analisada a orientação dos painéis para Sul e Sudoeste, sendo que para a presente dissertação, foi selecionada a opção que permite obter maior produção média anual de eletricidade. Na Tabela 52 é apresentada alguma informação relativa aos painéis solares em cada instalação. Desta forma, foi retirada a quantidade de eletricidade produzida em cada instalação, ao consumo verificado em 2015. No caso da sede só foi utilizado 55% da produção apresentada, visto ser essa a percentagem de autoconsumo.

**Tabela 52** - Informação relativa aos painéis solares em cada instalação

|   | Freixo      | Sobreiras      | Sede    |
|---|-------------|----------------|---------|
| Potência Total instalada                  | 450 kW      | 230 kW         | 420 kW  |
| Nº de painéis                             | 1.815       | 970            | 1.684   |
| Energia injetada na rede elétrica         | Desprezável | Não há         | 45 %    |
| % de autoconsumo                          | 100 %       | 100 %          | 55 %    |
| Orientação dos painéis                    | Sul         | Sudoeste (12°) | Sul     |
| Produção média anual (kWh)                | 618.339     | 333.514        | 584.718 |
| Investimento (s/IVA) (€)                  | 543.628     | 292.291        | 507.107 |
| Tarifa média de compra de energia (€/kWh) | 0,0958      | 0,0958         | 0,0891  |
| Tarifa média de venda (€/kWh)             | 0,05        | 0,05           | 0,05    |

Tendo em conta as tarifas de compra apresentadas e a produção total de eletricidade, esta medida permitiria reduzir o custo anual de eletricidade em cerca de 143.286 €, para além de uma receita de 13.156 € pela injeção na rede a partir da sede.

## 6.3 Cogeração na ETAR do Freixo

Foi consultado outro estudo realizado pelo Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI), sendo que este mostra que pode existir um aproveitamento de pelo menos 2000 MWh/ano de energia que não existe atualmente. Sugeriram-se duas hipóteses para aproveitamento do biogás: (i) através de Biometanização, onde o biogás é tratado de forma a ter características similares ao gás natural, podendo ser injetado na rede nacional; (ii) por Cogeração, onde o biogás é utilizado para produzir calor para os digestores anaeróbios e para produzir eletricidade, que pode ser autoconsumida ou injetada na rede nacional.

Relativamente à cogeração, as duas tecnologias passíveis de serem implementadas na ETAR do Freixo consistem no uso de turbina a gás e motor alternativo de combustão interna. Verificou-se que a aplicação de qualquer das duas tecnologias é viável, permitindo, por um lado, colmatar as necessidades térmicas dos digestores anaeróbios (1.804.000 kWh/ano), face a uma produção de 1.925.70 kWh/ano, bem como produzir simultaneamente eletricidade que pode ser consumida pela própria ETAR ou vendida à entidade fornecedora.

Para esta dissertação, foi utilizada a informação relativa ao motor de combustão, sendo que na Tabela 53 são apresentadas algumas informações relativas a esta tecnologia. Para simular este cenário foi retirado ao consumo elétrico verificado em 2015 nesta ETAR, o valor apresentado de produção de energia elétrica pelo motor de combustão.

**Tabela 53** - Informação do motor de combustão

|                              | Motor de Combustão |
|------------------------------|--------------------|
| Potência do equipamento (kW) | 489                |
| Energia total (kWh/ano)      | 3.851.500          |
| Energia térmica (kWh/ano)    | 1.925.750          |
| Energia elétrica (kWh/ano)   | 1.193.965          |
| Investimento (€)             | 166.586            |

#### 6.4 Redução de perdas

Para avaliar este cenário, admitiu-se que a quantidade de água faturada era a mesma que em 2015, tendo-se alterado a quantidade de água comprada à Águas do Norte S.A., de forma a obter um valor correspondente a perdas de 19,2%. Ou seja, para obter uma quantidade faturada de 16.603.906 m<sup>3</sup> e verificando 19,2% de perdas, é necessário comprar 20.555.636 m<sup>3</sup> de água. Neste caso, as perdas seriam de 3.951.730 m<sup>3</sup>. Para diminuir as perdas é necessário instalar mais condutas para reabilitar as zonas da rede com maior idade e que estão mais sujeitas a roturas. Desta forma, os benefícios correspondem à diminuição de água comprada e consequente diminuição dos impactes da eletricidade e químicos utilizados na Captação e Tratamento da Água. Foi também testada a hipótese de redução de perdas para 15% seguindo o mesmo raciocínio, obtendo-se 19.534.007 m<sup>3</sup> de água comprada e 2.930.101 m<sup>3</sup> de perdas.

#### 6.5 Comparação dos cenários de melhoria da ecoeficiência

Os 6 cenários estão apresentados na Figura 45, onde é evidenciada a percentagem de variação que ocorre em cada categoria, dos resultados da ecoeficiência, pelo que quanto mais negativa for a percentagem de variação, melhor a ecoeficiência, visto que se pretende obter resultados o mais próximo de zero.

A alternativa que apresenta maior redução é a aplicação conjunta de painéis solares e de um sistema de cogeração, com melhorias acima de 5% nas categorias de acidificação terrestre (AT) com 6%, formação de material particulado (FMP) com 5,9%, formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 5,5% e nas alterações climáticas (AC) com 5,2%.

De seguida surge a redução das perdas para 15%, com benefícios mais acentuados nas mesmas categorias que a alternativa anterior, embora com percentagens entre 3,6% e 3,9% nessas categorias. Verifica-se que esta é a melhor opção na categoria de depleção de água, com uma redução de 5,2%.

Em terceiro e quarto lugar surgem as alternativas de cogeração e a aplicação de painéis solares, respetivamente, quando aplicadas de forma separada. Apenas para a categoria de depleção de combustíveis fósseis é que a solução de painéis solares é superior à cogeração, apresentando uma melhoria de 2,66% face aos 0,82% da cogeração.

Por fim, as duas medidas restantes apresentam valores semelhantes, com uma ligeira vantagem para a redução de perdas para 19,2%. Apenas para as categorias de formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) e depleção de combustíveis fósseis (DCF) é que os carros elétricos apresentam uma maior diminuição, com percentagens de 1,26% e 0,37%, respetivamente, face aos 0,71% e 0,24% da redução de perdas.

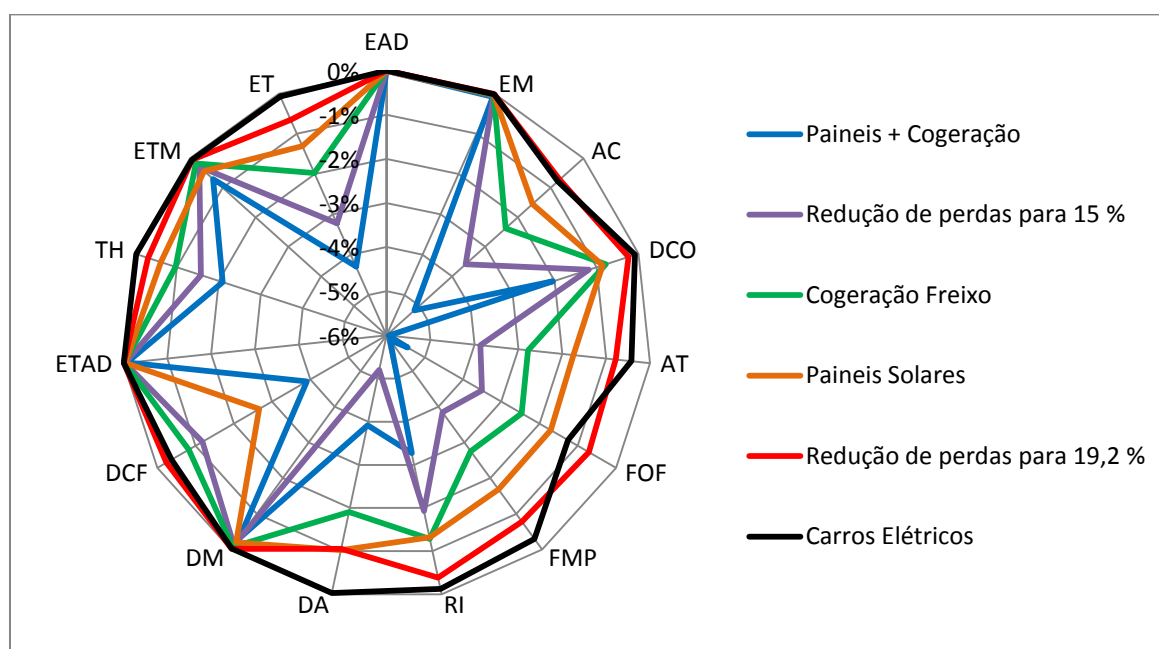


Figura 45 - Comparação dos cenários de melhoria da ecoeficiência

## 7 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

### 7.1 Conclusões

Uma vez que o desempenho ambiental tem assumido um papel importante nos eixos estratégicos das organizações, a realização de estudos de Avaliação de Ciclo de Vida, bem como de Avaliação de Ecoeficiência apresenta cada vez mais benefícios e utilidade prática. A ecoeficiência conjuga o desempenho ambiental com o económico, consistindo na criação de mais valor com menos recursos e menos impacto no ambiente.

Relativamente ao setor da água, já existem vários estudos de Avaliação de Ciclo de Vida realizados em várias partes do globo, contudo ainda existem poucos a nível Avaliação de Ecoeficiência. Nesta ótica, o presente estudo evidencia-se como um dos poucos aplicados com o propósito de avaliar a ecoeficiência, tendo sido estudado o sistema desde a captação até à devolução da água ao Rio Douro, na cidade do Porto, mais concretamente no contexto da Águas do Porto E.M.

Existem várias metodologias passíveis de serem utilizadas para realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida, com abordagem *midpoint*, *endpoint* ou uma combinação delas, como por exemplo a CML-IA, Eco-Indicator 99 ou ReCiPe 2008. Nesta dissertação foi utilizada a ReCiPe 2008, versão 1.11 de Dezembro de 2014, uma vez que é a sucessora dos métodos Eco-Indicator 99 e CML-IA. A nível de *softwares*, podem ser mencionados o SimaPro, Gabi e OpenLCA, que permitem realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida, contendo também diversas bases de dados para as atividades de *Background*. O *software* SimaPro foi o selecionado para o presente trabalho, sendo que para tratamento de toda a informação, recorreu-se à ferramenta Microsoft® Office Excel.

Através de uma abordagem do tipo *cradle-to-grave*, foram contempladas as seguintes etapas fundamentais ao fornecimento e tratamento da água: Captação e Tratamento de Água na ETA de Lever, Distribuição, Drenagem de Águas Residuais, Tratamento das Águas Residuais nas ETAR e, por fim, os Serviços Administrativos. Foram consideradas as atividades de *Foreground*, referentes à ação direta das atividades realizadas pela empresa e as atividades de *Background*, associadas à produção de materiais e energia utilizadas em todo o processo.

A nível de inventário, nas entradas de cada etapa, foram recolhidas informações relativas ao consumo elétrico, quantidade de reagentes e combustíveis fósseis utilizados, a tubagem produzida, bem como o transporte dos reagentes e tubagem para as instalações da empresa. Quanto às saídas foi incluída a água não faturada, as emissões para a água e ar reportadas à Agência Portuguesa do Ambiente (APA), bem como os resíduos produzidos na ETA e nas ETAR. Da mesma forma, foram incluídos os transportes destes resíduos para as entidades competentes. Foi analisado e apresentado com detalhe o tratamento da informação referente ao ano de 2015.

A unidade funcional considerada foi o fornecimento de 1 m<sup>3</sup> de água potável aos consumidores, por ser um volume de água facilmente relacionável com os dados de entrada e saída e por ter sido normalmente utilizada na bibliografia consultada.

Desta forma, foi possível realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida, desde 2006 até 2015, bem como uma posterior Avaliação da Ecoeficiência, entre 2007 e 2015. A razão de excluir o ano de 2006 na Avaliação da Ecoeficiência deveu-se ao facto do indicador económico adotado, nomeadamente o volume de negócios, ter apresentado um valor muito inferior nesse ano, visto que a empresa foi constituída em outubro de 2006. Foi utilizado este indicador económico devido à pouca variabilidade

anual demonstrada, apresentando-se como uma boa base de comparação do desempenho em cada ano e por ser referente à venda da água aos consumidores.

Comparando os resultados *Foreground* e *Background*, verificou-se que apenas para 5 das 15 categorias analisadas é que as atividades de *Foreground* apresentavam uma elevada contribuição, devido às emissões para a água das duas ETAR em estudo. Estas 5 categorias referem-se à eutrofização de água doce (EAD), eutrofização marinha (EM), ecotoxicidade de água doce (ETAD), toxicidade humana (TH) e ecotoxicidade marinha (ETM). Nas restantes 10 categorias, as atividades de *Background* foram dominantes, muito por causa da eletricidade.

Analisando cada etapa individualmente, para o ano de 2015, verificou-se que para a Captação e Tratamento de Água, a eletricidade era o principal contribuidor, apresentando uma contribuição entre 83% a 98%, enquanto que os reagentes apenas de 2% a 17%. Na etapa de Distribuição, bem como na Drenagem de Águas Residuais, a produção da tubagem revelou-se ser também bastante significativa. Relativamente ao Tratamento de Águas Residuais, a eletricidade, a produção de reagentes e as emissões para a água foram os principais contribuidores para as categorias analisadas. Dos reagentes analisados nesta etapa, destaca-se a produção de hipoclorito de sódio com maiores impactes, seguido da produção dos polímeros. Ainda nesta etapa, foram consideradas as lamas que são encaminhadas para valorização agrícola, pelo que previnem a produção de fertilizantes sintéticos, traduzindo-se num benefício ambiental, razão pela qual se verifica a presença de valores negativos. Por fim, para a etapa de Serviços Administrativos, a eletricidade também é o principal contribuidor, seguido da produção do diesel e, por fim, as emissões decorrentes das deslocações da frota automóvel.

Foram analisados com maior detalhe os anos de 2006 e 2010, por serem os anos com maior consumo elétrico e maior instalação de tubagem, respetivamente. Verificou-se que o elevado consumo elétrico em 2006 se traduzia numa maior contribuição da etapa de Distribuição. Neste ano, o consumo elétrico na Distribuição de Água cifrava-se em 4.566.771 kWh, enquanto que em 2015 apenas foram consumidos 291.105 kWh, verificando-se assim uma redução de 93,6 %, sendo que esta descida foi devida à implementação do Projeto Porto Gravítico, que permitiu então reduzir o consumo elétrico na etapa de Distribuição de Água. Já em 2010, o ano mais intensivo a nível de aplicação de tubagem, evidencia maior contribuição em várias categorias, tanto para a etapa de Distribuição como para a Drenagem de Águas Residuais, devido à maior produção de tubagem de Ferro Fundido Dúctil.

Foi realizado um histórico da evolução da ecoeficiência, desde 2007 até 2015, onde se concluiu que ocorreram melhorias significativas em praticamente todas as categorias estudadas. Por exemplo, a categoria de alterações climáticas apresentou uma melhoria de 22,7%, uma vez em 2007 apresentava um resultado de 0,82 kg CO<sub>2</sub>/ € de volume de negócios e em 2015 apenas 0,63 kg CO<sub>2</sub>/ € de volume de negócios. A categoria de depleção de minerais foi a que apresentou maior variabilidade, verificando os maiores valores em 2010 e 2013, visto que a produção de tubagem é, para além da produção dos reagentes químicos, o maior contribuidor nesta categoria, bem como o facto de estes anos terem sido os mais intensivos a nível de aplicação de nova tubagem.

Foram cumpridos os objetivos definidos, uma vez que se procedeu à avaliação das etapas do sistema em análise, tendo sido identificadas as etapas de Captação e Tratamento de Água, bem como o Tratamento das Águas Residuais, como as que apresentam maior contribuição relativa no impacto total, no ano de 2015. Ficou também evidente a menor contribuição das restantes três etapas, nomeadamente a Distribuição de Água, a Drenagem de Águas Residuais e os Serviços Administrativos. A eletricidade, tal como identificada nos estudos analisados, é a principal componente a contribuir para o impacto em várias categorias, sendo ainda relevantes os contributos das emissões para a água das ETAR e a produção dos reagentes químicos aplicados. Considerando o

sistema total, a eletricidade apresenta uma contribuição superior a 80% em 5 categorias, nomeadamente as alterações climáticas (AC), acidificação terrestre (AT), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), formação de material particulado (FMP) e depleção de combustíveis fósseis (DCF). Verificou-se que a redução das perdas de água na etapa de Distribuição permite uma melhoria da ecoeficiência ao longo dos anos, diminuindo a quantidade de água comprada à Águas do Norte S.A. e consequentes consumos elétricos e de reagentes aplicados no tratamento. Ainda nesta etapa, a aplicação do Projeto Porto Gravítico permitiu reduzir de forma acentuada o consumo elétrico, o que se traduz numa redução dos impactes e consequente melhoria da ecoeficiência.

Por fim, foram avaliadas medidas que a empresa pretende implementar, mais concretamente a substituição de parte da frota de veículos por carros elétricos, a instalação de painéis solares nas duas ETAR e na sede da empresa, a aplicação de um sistema de cogeração na ETAR do Freixo, bem como o efeito da redução das perdas de 20,2% para 19,2%. Para além destas medidas, foram avaliados mais dois cenários, relativos à redução de perdas para 15%, bem como uma solução de aplicação conjunta dos painéis solares e cogeração. Verificou-se que a aplicação conjunta de painéis solares e de um sistema de cogeração é o cenário que apresenta maior benefício a nível de ecoeficiência, com melhorias acima de 5% em várias categorias, nomeadamente para a acidificação terrestre (AT) com 6%, formação de material particulado (FMP) com 5,9%, formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) com 5,5% e nas alterações climáticas (AC) com 5,2%. Em segundo lugar, surge a redução da perda de água para 15%, que permite assim reduzir os impactes na etapa de Captação e Tratamento de Água. De seguida surge a implementação de um sistema de cogeração e, posteriormente, a aplicação de painéis solares, ou seja, a aplicação de cada uma de forma individual. Por fim, a redução de perdas para 19,2% e a utilização de carros elétricos surgem como as menos favoráveis, comparativamente às anteriores. Ainda assim há que referir que as duas permitem melhorar a ecoeficiência, porém, em menor intensidade do que as restantes.

Face aos resultados obtidos, fica evidente a evolução muito positiva da Águas do Porto E.M., demonstrando que o desempenho ambiental tem assumido um papel importante nos seus eixos estratégicos. Para além das melhorias já obtidas no espaço temporal analisado, destacando-se a enorme redução de consumo elétrico resultante do Projeto Porto Gravítico e a redução das perdas de água, pretende implementar ainda mais medidas que reduzam o seu impacto no ambiente, enquadrando-se numa perspetiva de desenvolvimento sustentável.

## 7.2 Trabalhos Futuros

Perante a análise efetuada e os resultados obtidos, torna-se fulcral dar continuidade ao trabalho desenvolvido, sendo de seguida apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros a realizar, tanto a um nível mais geral da Avaliação da Ecoeficiência, quer a nível da presente dissertação.

Numa ótica mais geral da Avaliação da Ecoeficiência:

- Conjugar os estudos de Avaliação de Ciclo de Vida, com a vertente económica, através da aplicação do *Life Cycle Cost* (LCC) de forma a permitir o cálculo da ecoeficiência;
- A nível de *softwares* já existentes, que auxiliam na Avaliação de Ciclo de Vida, implementar também a vertente económica, de forma a permitir a realização dos dois estudos em simultâneo;
- Como ficou perceptível nos resultados obtidos, a produção de eletricidade tem grande influência nos impactes. As tecnologias utilizadas na sua produção são determinantes,

sendo que quanto maior a contribuição das energias renováveis, menor o impacto ambiental. Desta forma, seria interessante atualizar a informação relativa à eletricidade no SimaPro, visto que esta é referente ao ano de 2008, pelo que a contribuição de energias renováveis é muito inferior à da atualidade.

A nível da presente dissertação:

- Incluir o uso da água pelos consumidores no ciclo urbano da água, ou seja, adicionar uma etapa suplementar que englobe o consumo da água pela população. Isto porque no estudo de Flower *et al.*, (2007), demonstrou-se que os equipamentos de uso doméstico de aquecimento e utilização de água, devido ao elevado consumo de energia, emitem mais gases com efeito de estufa do que todas as etapas restantes do ciclo urbano da água. Assim, seria interessante estudar uma área representativa da cidade, de forma a estudar o padrão de consumo energético por habitação, avaliando também a classe energética dos aparelhos que utilizam água;
- Uma vez que na etapa de Captação e Tratamento de Água, realizada pela Águas do Norte S.A., foi realizada uma estimativa para a utilização de reagentes e não foi possível recolher informação relativa à utilização de combustíveis fósseis, seria interessante recolher dados concretos, de forma a complementar os resultados do presente estudo.
- Utilizar diferentes metodologias para analisar os resultados, de forma a verificar se as conclusões obtidas são semelhantes. Da mesma forma, pode ser aplicada igualmente a metodologia ReCiPe, mas utilizando outras perspetivas, nomeadamente a perspetiva igualitária (E) e a perspetiva individualista (I). Assim, seria analisada de que forma cada perspetiva afeta os resultados obtidos e qual a variação existente.



## BIBLIOGRAFIA

- AEP - Associação Empresarial de Portugal. (2013). *Manual Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS) - Setor da metalomecânica*. Gabinete de Projetos Especiais.
- Águas do Douro e Paiva S.A. (2005). *O novo ciclo da água: Complexo de Lever*.
- Águas do Douro e Paiva S.A. (2008). *Investigação e Desenvolvimento na Águas do Douro e Paiva*.
- Águas do Douro e Paiva S.A. (2014). *Relatório e Contas*.
- Águas do Porto E.M. (2012). *Relatório & Contas*. Porto.
- Águas do Porto E.M. (2014). *Relatório & Contas*. Porto.
- Águas do Porto E.M. (2015). *Relatório & Contas*. Porto.
- Amores, M. J., Meneses, M., Pasqualino, J., Antón, A., & Castells, F. (2013). Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 43, 84-92.
- AQUAENVEC. (2015). *Assessment and improvement of the urban water cycle eco-efficiency using LCA and LCC*.
- Baptista, A. J., Lourenço, E. J., Pereira, J. P., Cunha, F., Marques, B., Silva, E. J., et al. (2014). *Eco-efficiency Framework as a Decision Support Tool to Enhance Economic and Environmental Performance of Production Systems*.
- Barjoveanu, G., Maria, C. i., Garcia, G. R., & Hospido, A. (2013). Evaluation of water services system through LCA. A case study for Iasi City, Romania. *Int. J. Life Cycle Asses.*, 19, 449-462.
- BASF. (2004). *The BASF Eco-Efficiency Analysis method - applied on environmental impact data from an LCA study of two colorants*.
- BCSD Portugal, (. C. (2013). *A ecoeficiência na vida das empresas*.
- Borrego, C., Lopes, M., Ribeiro, I., & Carvalho, A. (2009). *As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio*. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2012). *Análise do ciclo de vida de construções metálicas*. Universidade do Minho, Braga.
- Carmo, J. M. (2013). *Estratégia de Adaptação das ETAR às Alterações Climáticas com Suporte na Simulação Dinâmica*. Lisboa.
- Carvalho, A. C. (2010). *Estudo integrado para transporte, tratamento, valorização e destino final das lamas produzidas na ETAR de Sobreiras, na ETAR do Freixo*. FEUP, Porto.
- Castanheira, L., & Gouveia, J. B. (2004). *Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*. Sociedade Portuguesa de Inovação.
- Comandaru, I. M., Bârjoveanu, G., Peiu, N., Ene, S. A., & Teodosiu, C. (2012). Life Cycle Assessment of wine: Focus on water use impact assessment. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11, 533-543.
- Comissão Europeia. (2010). *ILCD Handbook: Analysis of the existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment*. Institute for Environment and Sustainability.

- Comissão Europeia. (2014). *EcoInovação: o segredo da competitividade futura da Europa*.
- Dassault Systèmes SolidWorks Corp. (2016). *Guide to Sustainable Design*.
- Decreto-Lei n.º 73/2011. (17 de Junho de 2011). Diário da República, 1.ª série — N.º 116 . pp. 3251-3300.
- EcoWater. (2012a). *Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors - Deliverable 1.1 Review and selection of eco-efficiency indicators to be used in the EcoWater Case Studies*.
- EcoWater. (2012b). *Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors - Deliverable 1.4 Review of existing frameworks and tools for developing eco-efficiency indicators*.
- EcoWater. (2013). *Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors - Deliverable 1.3 Populated Technology Inventory*.
- EcoWater. (2014). *Meso-level eco-efficiency indicators to assess technologies and their uptake in water use sectors - Deliverable 3.2 Baseline eco-efficiency assessment in urban water systems*.
- EMEP/EEA. (2013). *Air pollutant emission inventory guidebook 2013: Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles*. European Environment Agency, Dinamarca.
- ERSAR. (2015a). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal Volume 1: Caracterização do setor de águas e resíduos*.
- ERSAR. (2015b). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal Volume 2: Controlo da qualidade da água para consumo humano*.
- Felício, A. M., & Carlos, D. (2014). *Definição estratégica para o cluster da água a médio e longo prazo*. AEP - Associação Empresarial de Portugal, Leça da Palmeira.
- Ferreira, J. V. (2004). *Análise de ciclo de vida dos produtos*. Instituto Politécnico de Viseu, Viseu.
- Flower, D., Mitchell, V., & Codner, G. (2007). *Urban water systems: Drivers of climate change?*
- Friedrich, E., Pillay, S., & Buckley, C. (2009). Environmental life cycle assessments for water treatment processes – A South African case study of an urban water cycle. *Water SA* , 35, 73-84.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., et al. (2007). *Overview and Methodology: Ecoinvent report n° 1*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Suíça.
- Global Reporting Initiative. (2007). *Directrizes para a elaboração de relatórios de sustentabilidade*. Holanda.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2000). *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for LCIA*. PRé Consultants, Países Baixos.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs, J., & Zelm, R. v. (2013). *ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM), Países Baixos.
- Heijungs, R., Goedkoop, M., Struijs, J., SuzEffting, S., Sevenster, M., & Huppes, G. (2003). *Towards a life cycle impact assessment method which comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level: Report of the first project phase: Design of the new method*.

- HLPGS. (2010). *Sustainable Development: From Brundtland to Rio 2012*. United Nations Headquarters, New York.
- Hobson, J. (2000). CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from wastewater handling. *IPCC (Ed.) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, pp. 441-454.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 6 - Wastewater treatment and discharge*.
- ISO. (2008). *ISO 14040:2006 Gestão ambiental - Avaliação de ciclo de vida - Princípios e enquadramento*. International Organization for Standardization, Suíça.
- ISO. (2010). *ISO 14044:2006 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação*. International Organization for Standardization, Suíça.
- ISO. (2012a). *NP EN ISO 14001:2012: Sistemas de Gestão Ambiental - Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização (ISO 14001:2004)*. International Organization for Standardization, Portugal.
- ISO. (2012b). *ISO 14045:2012 Environmental management — Ecoefficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, Suíça.
- Lassaux, S., Renzoni, R., & Germain, A. (2006). Life Cycle Assessment of Water from the Pumping Station to the Wastewater Treatment Plant. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 18, 118-126.
- Lemos, D., Dias, A. C., Gabarrell, X., & Arroja, L. (2013). Environmental assessment of an urban water system. *Journal of Cleaner Production*, 54, 157-165.
- Loubet, P., Roux, P., Loiseau, E., & Bellon-Maurel, V. (2014). Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer reviewed literature. *Water Research*, 67, 187-202.
- Lourenço, E. (2013). Ecoeficiência em sistemas de produção. *Indústria e Ambiente: Ecoeficiência na indústria: reindustrialização no sentido certo*.
- Menoufi, K. (2011). *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art*. Universidade de Lérida, Lérida.
- Nissan. (2016). *Nissan Leaf My`16 - Especificações Técnicas*.
- Politejo. (2015). *Tubos de Polietileno de Alta Densidade*.
- PRé. (2000). *Eco-indicator 99 Manual for designers: A damage oriented method for Life Cycle Assessment*. Países Baixos.
- PRé. (2015). *SimaPro Database Manual: Methods Library*. Países Baixos.
- Projecto Improve Center. (2012). *Ambiente e Desenvolvimento Sustentável: As questões ambientais na estratégia das empresas*. ANJE.
- Prosuite. (2013). *Development and application of a standardized methodology for the PROspective SUsTaInability assessment of TEchnologies - Recommended assessment framework, characterisation models and factors for environmental impacts and resource use*. Dinamarca.
- R. C., & E. K. (2015). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos*. UNESCO, Divisão de Ciências Hídricas, Itália.
- Renault. (2011). *Renault Kangoo Z.E - Faça parte da mudança*.

Renault. (2013). *Renault Zoe - O automóvel eléctrico para o dia-a-dia*.

Saint - Gobain. (2008). *Tubos e Acessórios em Ferro Fundido Dúctil: Redes de águas residuais e separativas Norma Europeia N598*.

Steinzeug - Keramo. (2013). *Sistemas de Tubos de Grés Vitrificado: Instalacion a Cielo Abierto. Fuerte. Sostenible. Con miras al Futuro*.

WBCSD. (2000a). *A ecoeficiência: criar mais valor com menos impacto*. World Business Council for Sustainable Development, Londres.

WBCSD. (2000b). *Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance*. Londres.

WWAP. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. UNESCO, Paris.

Sítios da internet Consultados:

SNIRH. (2016) - <http://snirh.pt/> - (Acedido em: 7/6/2016)

## **ANEXOS**

**Anexo 1** – Modelo da metodologia CML-IA (Comissão Europeia, 2010)

**Anexo 2** – Modelo da metodologia Eco-Indicator 99 (PRé, 2000)

**Anexo 3** – Modelo da metodologia ReCiPe (PRé, 2015)

**Anexo 4** – Fatores de Caracterização segundo a metodologia ReCiPe 2008

**Anexo 5** – Bases de dados utilizadas para ACV das atividades *Background*

**Anexo 6** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) do sistema total

**Anexo 7** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de captação e tratamento de água

**Anexo 8** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de distribuição de água

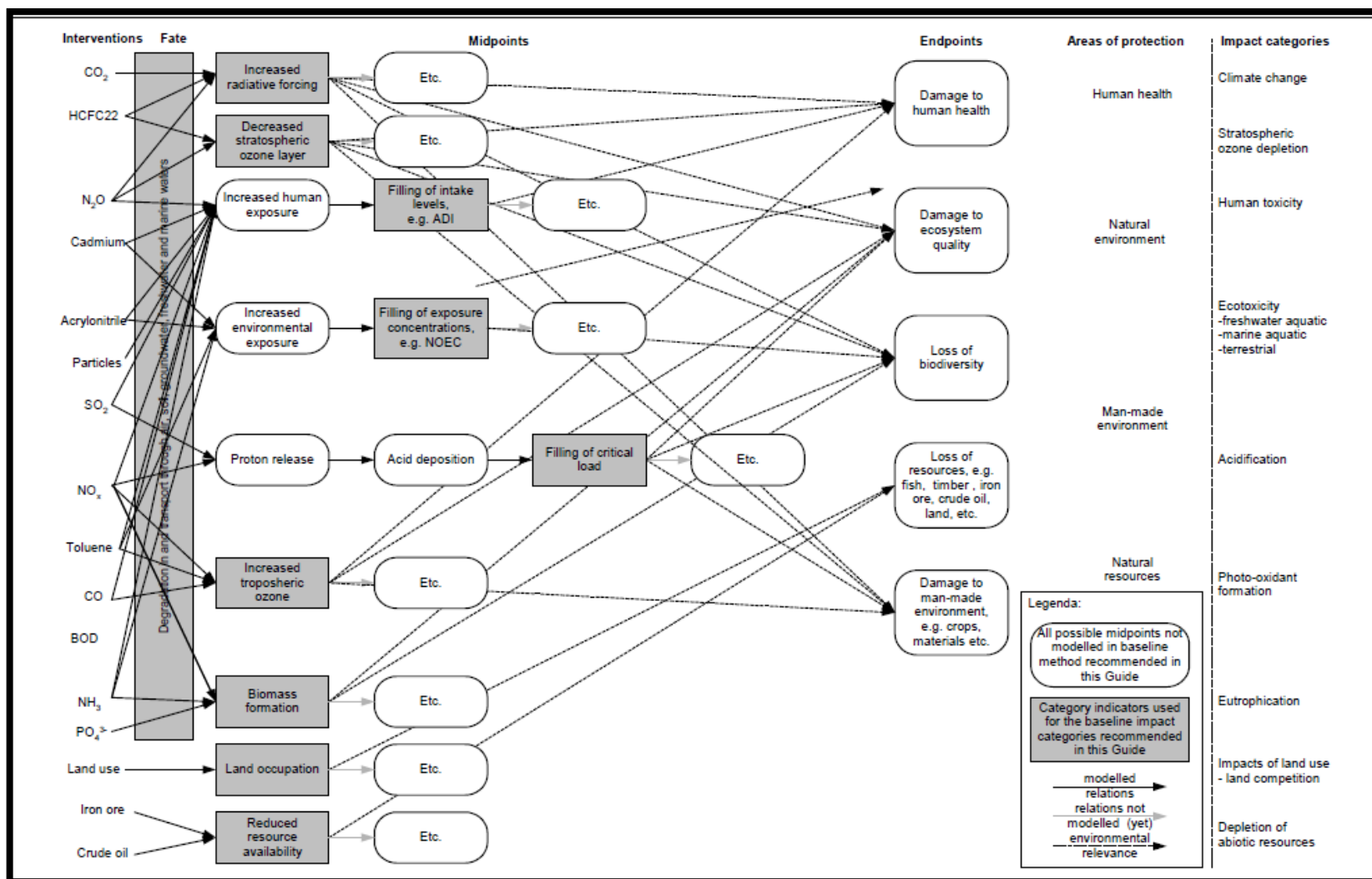
**Anexo 9** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de drenagem de águas residuais

**Anexo 10** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de tratamento de águas residuais

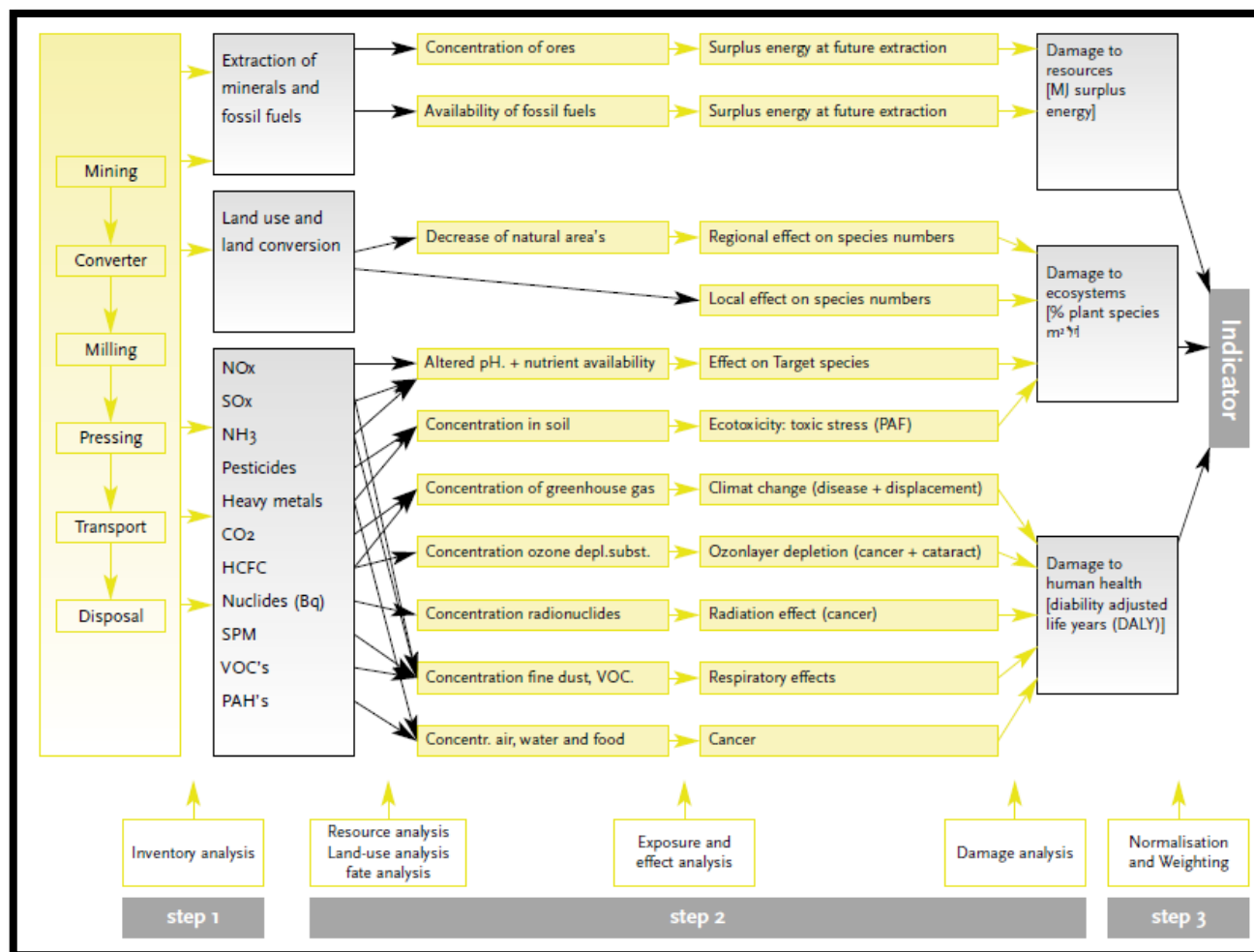
**Anexo 11** – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de serviços administrativos

**Anexo 12** – Avaliação das medidas a implementar para a melhoria da ecoeficiência. Resultados (em cima) e percentagem de variação (em baixo)

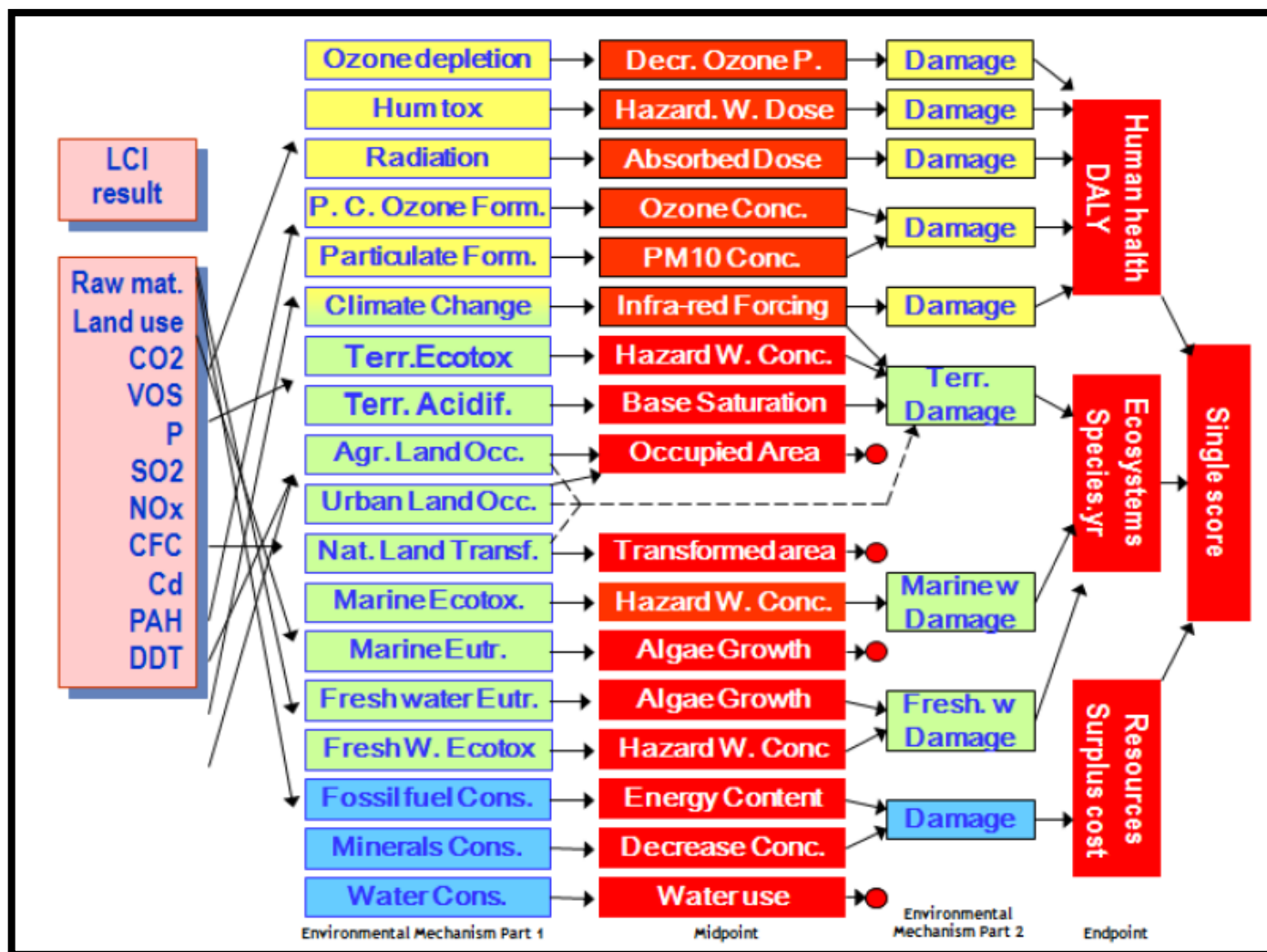
Anexo 1 – Modelo da metodologia CML-IA (Comissão Europeia, 2010)



**Anexo 2 – Modelo da metodologia Eco-Indicator 99 (PRé, 2000)**



Anexo 3 – Modelo da metodologia ReCiPe (PRé, 2015)





**Anexo 4 – Fatores de Caracterização segundo a metodologia ReCiPe 2008**

| <b>Categoria de Impacte Ambiental</b>   | <b>Componente</b>                                   | <b>Compartimento</b> | <b>Fator de Caracterização</b> |
|---|---|----------------------|--------------------------------|
| Eutrofização de Água Doce (kg P eq/kg)  | Fósforo Total (P Total)                             | água                 | 1,00E+00                       |
| Eutrofização Marinha (kg N eq/kg)   | Azoto Total (N Total)                               | água                 | 1,00E+00                       |
|   | NO <sub>x</sub>                                     | ar                   | 3,90E-02                       |
|   | NO <sub>2</sub>                                     | ar                   | 3,90E-02                       |
|   | NH <sub>3</sub>                                     | ar                   | 9,20E-02                       |
| Alterações Climáticas (Horizonte Temporal = 100 anos) (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)  | CO <sub>2</sub>                                     | ar                   | 1,00E+00                       |
|   | CH <sub>4</sub>                                     | ar                   | 2,50E+01                       |
|   | N <sub>2</sub> O                                    | ar                   | 2,98E+02                       |
| Acidificação Terrestre (Horizonte Temporal = 100 anos) (kg SO <sub>2</sub> eq/kg) | NO <sub>x</sub>                                     | ar                   | 5,60E-01                       |
|   | NO <sub>2</sub>                                     | ar                   | 5,60E-01                       |
|   | NH <sub>3</sub>                                     | ar                   | 2,95E+00                       |
| Formação de oxidantes fotoquímicos (kg NMVOC eq/kg)                               | NMVOC   | ar                   | 1,00E+00                       |
|   | NO <sub>x</sub>                                     | ar                   | 1,00E+00                       |
|   | NO <sub>2</sub>                                     | ar                   | 1,00E+00                       |
|   | CH <sub>4</sub>                                     | ar                   | 1,00E-02                       |
|   | CO  | ar                   | 4,60E-02                       |
| Formação de material particulado (kg PM <sub>10</sub> eq/kg)                      | PM <sub>10</sub>                                    | ar                   | 1,00E+00                       |
|   | NO <sub>2</sub>                                     | ar                   | 2,20E-01                       |
|   | NH <sub>3</sub>                                     | ar                   | 3,20E-01                       |
| Depleção de Água (Horizonte Temporal = 100 anos) (m <sup>3</sup> )                | Água  | água                 | 1,00E-03                       |
| Ecotoxicidade em água doce (kg 1,4 – DB eq/kg)                                    | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | água                 | 1,09E+00                       |
|   | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | água                 | 1,32E+00                       |
|   | Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )            | água                 | 1,11E-01                       |
|   | Triclorometano (CHCl <sub>3</sub> )                 | água                 | 1,47E-01                       |
|   | Arsénio   | água                 | 1,56E+01                       |
|   | Cobre   | água                 | 1,18E+02                       |
|   | Mercúrio  | água                 | 9,30E+01                       |
|   | Níquel  | água                 | 9,84E+01                       |
|   | Zinco   | água                 | 7,52E+00                       |
| Toxicidade Humana (kg 1,4 – DB eq/kg)   | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | água                 | 4,75E+01                       |
|   | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | água                 | 2,07E+00                       |
|   | Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )            | água                 | 6,98E-02                       |
|   | Triclorometano (CHCl <sub>3</sub> )                 | água                 | 1,99E+01                       |
|   | Arsénio   | água                 | 1,49E+04                       |

|  |   |      |          |
|--|---|------|----------|
|  | Cobre   | água | 7,38E-01 |
|  | Mercúrio  | água | 2,51E+04 |
|  | Níquel  | água | 6,96E+00 |
|  | Zinco   | água | 3,62E+01 |
| Ecotoxicidade Marinha<br>(kg 1,4 – DB eq/kg)   | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | água | 1,08E-01 |
|  | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | água | 7,23E-03 |
|  | Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )            | água | 6,29E-04 |
|  | Triclorometano (CHCl <sub>3</sub> )                 | água | 5,45E-02 |
|  | Arsénio   | água | 1,51E+01 |
|  | Cobre   | água | 1,01E+02 |
|  | Mercúrio  | água | 7,53E+01 |
|  | Níquel  | água | 9,59E+01 |
|  | Zinco   | água | 6,01E+00 |
| Ecotoxicidade Terrestre<br>(kg 1,4 – DB eq/kg) | Tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ) | água | 2,46E-03 |
|  | Naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> )         | água | 1,66E-04 |
|  | Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )            | água | 9,41E-06 |
|  | Triclorometano (CHCl <sub>3</sub> )                 | água | 1,41E-03 |
|  | Arsénio   | água | 4,95E-23 |
|  | Cobre   | água | 5,85E-22 |
|  | Mercúrio  | água | 6,43E-01 |
|  | Níquel  | água | 1,34E-21 |
|  | Zinco   | água | 6,70E-23 |

**Anexo 5** – Bases de dados utilizadas para ACV das atividades *Background*

|               | Atividade                   | Nome do processo no SimaPro   | Base de Dados (Projeto) | Unidade de Referência |
|---------------|-----------------------------|---|-------------------------|-----------------------|
| Energias      | Eletricidade Média Voltagem | Electricity mix, AC, consumption mix, at consumer, 1kV - 60kV PT S  | ELCD                    | 1 kWh                 |
|               | Eletricidade Baixa Voltagem | Electricity mix, AC, consumption mix, at consumer, < 1kV PT S   | ELCD                    | 1 kWh                 |
|               | Gás Natural                 | Natural Gas, high pressure (RoW)   natural gas production   Alloc Def, S  | Ecoinvent 3             | 1 m <sup>3</sup>      |
| Combustível   | Diesel                      | Diesel, from crude oil, consumption mix, at refinery, 200 ppm sulphur EU-15 S   | ELCD                    | 1 kg                  |
|               | Gasolina                    | Gasoline (regular), from crude oil, consumption mix, at refinery, 100 ppm sulphur EU-15 S                             | ELCD                    | 1 kg                  |
| Tubagem       | PEAD                        | HDPE Pipes E  | Industry data 2.0       | 1 kg                  |
|               | FFD                         | Cast Iron (RER)   production   Alloc Def, U   | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |
| Reagentes     | Poliacrilamida              | Polyacrylamide (GLO)   production   Alloc Def, U  | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |
|               | Hipoclorito de Sódio        | Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state (RER)   productio   Alloc Def, U                            | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |
|               | Hidróxido de Sódio          | Sodium hydroxide, (50% NaOH), production mix   (RER) Mass   | Agri-Footprint          | 1 kg                  |
|               | Cal Viva                    | Quicklime CaO 2007 EU, Quicklime with a free CaO content ranging between 89.5% and 95.5%, production at plant (RER) S | ELCD                    | 1 kg                  |
|               | Ácido Sulfúrico             | Sulfuric acid (RER)   production   Alloc Def, U   | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |
|               | Cloro                       | Chlorine gás, production mix   (RER)  | Agri-Footprint          | 1 kg                  |
| Transporte    | Transporte                  | Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 (RER)   Alloc Def, S  | Ecoinvent 3             | 1 tkm                 |
| Fertilizantes | Fertilizantes               | Phosphate fertiliser, as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (RER)   single superphosphate production   Alloc Def, U        | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |
|               |                             | Ammonium nitrate, as 100% (NH <sub>4</sub> )(NO <sub>3</sub> ) (NPK 35-0-0), at plant/(RER) Mass                      | Agri-Footprint          | 1 kg                  |
| Inertes       | Inertes                     | Inert waste, for final disposal (ROW)   Alloc Def, U  | Ecoinvent 3             | 1 kg                  |

# Anexo 6 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) do sistema total

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 2,57E-03  | 1,07E-02  | 1,79E+00                | 2,68E-08       | 9,91E-03                | 5,68E-03      | 2,81E-03                 | 2,29E-02                 | 4,06E-03          | 5,76E-03   | 1,14E+00         | 4,92E-03       | 1,30E-01       | 5,53E-03       | 5,96E-05       |
| 2007 | 2,37E-03  | 1,02E-02  | 1,72E+00                | 2,75E-08       | 9,55E-03                | 5,50E-03      | 2,71E-03                 | 2,30E-02                 | 3,58E-03          | 6,16E-03   | 1,14E+00         | 4,54E-03       | 1,27E-01       | 5,16E-03       | 5,82E-05       |
| 2008 | 2,65E-03  | 1,09E-02  | 1,67E+00                | 2,71E-08       | 9,13E-03                | 5,32E-03      | 2,60E-03                 | 2,23E-02                 | 3,33E-03          | 8,02E-03   | 1,11E+00         | 5,18E-03       | 1,32E-01       | 5,73E-03       | 5,66E-05       |
| 2009 | 2,42E-03  | 1,02E-02  | 1,58E+00                | 2,70E-08       | 8,65E-03                | 5,03E-03      | 2,48E-03                 | 2,19E-02                 | 3,26E-03          | 1,00E-02   | 9,90E-01         | 4,81E-03       | 1,30E-01       | 5,29E-03       | 5,48E-05       |
| 2010 | 2,45E-03  | 1,08E-02  | 1,58E+00                | 2,35E-08       | 7,97E-03                | 4,91E-03      | 2,38E-03                 | 2,02E-02                 | 3,05E-03          | 2,14E-02   | 9,95E-01         | 7,19E-03       | 1,74E-01       | 7,42E-03       | 5,78E-05       |
| 2011 | 2,35E-03  | 1,16E-02  | 1,47E+00                | 3,05E-08       | 7,89E-03                | 4,71E-03      | 2,28E-03                 | 2,22E-02                 | 3,17E-03          | 1,26E-02   | 1,00E+00         | 3,64E-03       | 1,33E-01       | 4,32E-03       | 5,30E-05       |
| 2012 | 2,59E-03  | 1,04E-02  | 1,53E+00                | 2,79E-08       | 8,35E-03                | 4,89E-03      | 2,37E-03                 | 2,07E-02                 | 3,09E-03          | 8,13E-03   | 1,02E+00         | 2,75E-03       | 1,14E-01       | 3,44E-03       | 5,27E-05       |
| 2013 | 3,19E-03  | 1,24E-02  | 1,57E+00                | 2,77E-08       | 8,58E-03                | 4,91E-03      | 2,44E-03                 | 2,40E-02                 | 3,24E-03          | 1,55E-02   | 1,06E+00         | 4,83E-03       | 1,34E-01       | 5,30E-03       | 5,65E-05       |
| 2014 | 2,88E-03  | 1,04E-02  | 1,48E+00                | 2,58E-08       | 8,44E-03                | 4,84E-03      | 2,38E-03                 | 2,21E-02                 | 3,00E-03          | 9,54E-03   | 1,02E+00         | 5,38E-03       | 1,25E-01       | 5,95E-03       | 5,29E-05       |
| 2015 | 2,65E-03  | 9,78E-03  | 1,46E+00                | 2,78E-08       | 8,13E-03                | 4,69E-03      | 2,31E-03                 | 2,30E-02                 | 3,05E-03          | 1,02E-02   | 9,89E-01         | 5,07E-03       | 1,24E-01       | 5,63E-03       | 5,25E-05       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 1,13E-03    | 4,85E-03    | 8,19E-01                  | 1,31E-08         | 4,54E-03                  | 2,62E-03        | 1,29E-03                   | 1,09E-02                   | 1,70E-03            | 2,93E-03     | 5,41E-01           | 2,16E-03         | 6,06E-02         | 2,46E-03         | 2,77E-05         |
| 2008 | 1,28E-03    | 5,30E-03    | 8,08E-01                  | 1,31E-08         | 4,42E-03                  | 2,58E-03        | 1,26E-03                   | 1,08E-02                   | 1,61E-03            | 3,88E-03     | 5,36E-01           | 2,51E-03         | 6,39E-02         | 2,78E-03         | 2,74E-05         |
| 2009 | 1,13E-03    | 4,78E-03    | 7,35E-01                  | 1,26E-08         | 4,03E-03                  | 2,34E-03        | 1,15E-03                   | 1,02E-02                   | 1,52E-03            | 4,68E-03     | 4,62E-01           | 2,24E-03         | 6,08E-02         | 2,47E-03         | 2,56E-05         |
| 2010 | 1,15E-03    | 5,10E-03    | 7,46E-01                  | 1,11E-08         | 3,76E-03                  | 2,32E-03        | 1,12E-03                   | 9,52E-03                   | 1,44E-03            | 1,01E-02     | 4,69E-01           | 3,39E-03         | 8,21E-02         | 3,50E-03         | 2,73E-05         |
| 2011 | 1,05E-03    | 5,19E-03    | 6,60E-01                  | 1,37E-08         | 3,53E-03                  | 2,11E-03        | 1,02E-03                   | 9,94E-03                   | 1,42E-03            | 5,66E-03     | 4,47E-01           | 1,63E-03         | 5,95E-02         | 1,93E-03         | 2,37E-05         |
| 2012 | 1,13E-03    | 4,56E-03    | 6,70E-01                  | 1,22E-08         | 3,66E-03                  | 2,14E-03        | 1,04E-03                   | 9,08E-03                   | 1,35E-03            | 3,56E-03     | 4,46E-01           | 1,21E-03         | 4,99E-02         | 1,51E-03         | 2,31E-05         |
| 2013 | 1,40E-03    | 5,44E-03    | 6,89E-01                  | 1,22E-08         | 3,77E-03                  | 2,16E-03        | 1,07E-03                   | 1,05E-02                   | 1,42E-03            | 6,82E-03     | 4,66E-01           | 2,12E-03         | 5,88E-02         | 2,33E-03         | 2,48E-05         |
| 2014 | 1,25E-03    | 4,53E-03    | 6,42E-01                  | 1,12E-08         | 3,66E-03                  | 2,10E-03        | 1,03E-03                   | 9,58E-03                   | 1,30E-03            | 4,14E-03     | 4,42E-01           | 2,33E-03         | 5,43E-02         | 2,58E-03         | 2,29E-05         |
| 2015 | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,33E-01                  | 1,21E-08         | 3,54E-03                  | 2,04E-03        | 1,00E-03                   | 1,00E-02                   | 1,33E-03            | 4,45E-03     | 4,31E-01           | 2,20E-03         | 5,40E-02         | 2,45E-03         | 2,28E-05         |

**Anexo 7 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de Captação e tratamento de água**

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 5,24E-07  | 1,02E-04  | 9,86E-01                | 6,19E-09       | 5,88E-03                | 3,09E-03      | 1,66E-03                 | 8,37E-03                 | 1,52E-03          | 2,20E-04   | 2,18E-01         | 3,60E-05       | 3,71E-02       | 3,02E-04       | 3,22E-05       |
| 2007 | 5,36E-07  | 1,04E-04  | 1,01E+00                | 6,33E-09       | 6,01E-03                | 3,16E-03      | 1,70E-03                 | 8,56E-03                 | 1,56E-03          | 2,25E-04   | 2,23E-01         | 3,68E-05       | 3,80E-02       | 3,08E-04       | 3,30E-05       |
| 2008 | 4,84E-07  | 9,37E-05  | 9,08E-01                | 5,70E-09       | 5,42E-03                | 2,85E-03      | 1,53E-03                 | 7,71E-03                 | 1,40E-03          | 2,02E-04   | 2,01E-01         | 3,32E-05       | 3,41E-02       | 2,77E-04       | 2,96E-05       |
| 2009 | 4,76E-07  | 9,21E-05  | 8,92E-01                | 5,60E-09       | 5,33E-03                | 2,80E-03      | 1,51E-03                 | 7,58E-03                 | 1,38E-03          | 1,99E-04   | 1,98E-01         | 3,26E-05       | 3,35E-02       | 2,73E-04       | 2,91E-05       |
| 2010 | 4,84E-07  | 9,37E-05  | 9,07E-01                | 5,69E-09       | 5,42E-03                | 2,84E-03      | 1,53E-03                 | 7,70E-03                 | 1,40E-03          | 2,02E-04   | 2,01E-01         | 3,32E-05       | 3,41E-02       | 2,77E-04       | 2,96E-05       |
| 2011 | 4,58E-07  | 8,86E-05  | 8,58E-01                | 5,38E-09       | 5,13E-03                | 2,69E-03      | 1,45E-03                 | 7,28E-03                 | 1,33E-03          | 1,91E-04   | 1,90E-01         | 3,14E-05       | 3,22E-02       | 2,62E-04       | 2,80E-05       |
| 2012 | 4,97E-07  | 9,61E-05  | 9,25E-01                | 5,80E-09       | 5,57E-03                | 2,92E-03      | 1,57E-03                 | 7,86E-03                 | 1,44E-03          | 2,07E-04   | 2,06E-01         | 3,40E-05       | 3,45E-02       | 2,81E-04       | 2,99E-05       |
| 2013 | 4,67E-07  | 9,04E-05  | 8,71E-01                | 5,47E-09       | 5,24E-03                | 2,74E-03      | 1,48E-03                 | 7,40E-03                 | 1,36E-03          | 1,94E-04   | 1,94E-01         | 3,20E-05       | 3,26E-02       | 2,65E-04       | 2,83E-05       |
| 2014 | 4,63E-07  | 8,96E-05  | 8,63E-01                | 5,41E-09       | 5,20E-03                | 2,72E-03      | 1,47E-03                 | 7,33E-03                 | 1,34E-03          | 1,93E-04   | 1,92E-01         | 3,17E-05       | 3,22E-02       | 2,62E-04       | 2,80E-05       |
| 2015 | 4,56E-07  | 8,82E-05  | 8,49E-01                | 5,33E-09       | 5,11E-03                | 2,68E-03      | 1,44E-03                 | 7,21E-03                 | 1,32E-03          | 1,90E-04   | 1,89E-01         | 3,12E-05       | 3,17E-02       | 2,58E-04       | 2,75E-05       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 2,55E-07    | 4,94E-05    | 4,80E-01                  | 3,01E-09         | 2,86E-03                  | 1,50E-03        | 8,08E-04                   | 4,07E-03                   | 7,40E-04            | 1,07E-04     | 1,06E-01           | 1,75E-05         | 1,81E-02         | 1,47E-04         | 1,57E-05         |
| 2008 | 2,34E-07    | 4,54E-05    | 4,40E-01                  | 2,76E-09         | 2,63E-03                  | 1,38E-03        | 7,42E-04                   | 3,73E-03                   | 6,80E-04            | 9,81E-05     | 9,75E-02           | 1,61E-05         | 1,65E-02         | 1,34E-04         | 1,44E-05         |
| 2009 | 2,22E-07    | 4,29E-05    | 4,16E-01                  | 2,61E-09         | 2,48E-03                  | 1,30E-03        | 7,02E-04                   | 3,53E-03                   | 6,43E-04            | 9,27E-05     | 9,22E-02           | 1,52E-05         | 1,56E-02         | 1,27E-04         | 1,36E-05         |
| 2010 | 2,28E-07    | 4,42E-05    | 4,28E-01                  | 2,68E-09         | 2,56E-03                  | 1,34E-03        | 7,22E-04                   | 3,63E-03                   | 6,62E-04            | 9,53E-05     | 9,49E-02           | 1,56E-05         | 1,61E-02         | 1,31E-04         | 1,39E-05         |
| 2011 | 2,05E-07    | 3,96E-05    | 3,84E-01                  | 2,41E-09         | 2,30E-03                  | 1,20E-03        | 6,49E-04                   | 3,26E-03                   | 5,94E-04            | 8,56E-05     | 8,52E-02           | 1,40E-05         | 1,44E-02         | 1,17E-04         | 1,25E-05         |
| 2012 | 2,18E-07    | 4,21E-05    | 4,05E-01                  | 2,54E-09         | 2,44E-03                  | 1,28E-03        | 6,89E-04                   | 3,44E-03                   | 6,31E-04            | 9,04E-05     | 9,03E-02           | 1,49E-05         | 1,51E-02         | 1,23E-04         | 1,31E-05         |
| 2013 | 2,05E-07    | 3,97E-05    | 3,83E-01                  | 2,40E-09         | 2,30E-03                  | 1,20E-03        | 6,50E-04                   | 3,25E-03                   | 5,95E-04            | 8,54E-05     | 8,52E-02           | 1,40E-05         | 1,43E-02         | 1,16E-04         | 1,24E-05         |
| 2014 | 2,01E-07    | 3,89E-05    | 3,74E-01                  | 2,35E-09         | 2,25E-03                  | 1,18E-03        | 6,37E-04                   | 3,18E-03                   | 5,83E-04            | 8,36E-05     | 8,34E-02           | 1,37E-05         | 1,40E-02         | 1,14E-04         | 1,21E-05         |
| 2015 | 1,98E-07    | 3,84E-05    | 3,69E-01                  | 2,32E-09         | 2,22E-03                  | 1,16E-03        | 6,28E-04                   | 3,14E-03                   | 5,76E-04            | 8,25E-05     | 8,24E-02           | 1,36E-05         | 1,38E-02         | 1,12E-04         | 1,20E-05         |

# Anexo 8 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de Distribuição de água

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 5,63E-07  | 2,37E-05  | 1,97E-01                | 1,31E-09       | 1,28E-03                | 6,60E-04      | 3,63E-04                 | 1,81E-03                 | 1,44E-03          | 7,02E-04   | 4,70E-02         | 3,03E-05       | 8,16E-03       | 8,01E-05       | 6,14E-06       |
| 2007 | 7,91E-07  | 2,01E-05  | 1,55E-01                | 1,08E-09       | 1,00E-03                | 5,18E-04      | 2,86E-04                 | 1,52E-03                 | 9,39E-04          | 1,07E-03   | 3,73E-02         | 4,17E-05       | 7,43E-03       | 8,09E-05       | 5,02E-06       |
| 2008 | 1,21E-06  | 2,08E-05  | 1,45E-01                | 1,08E-09       | 9,31E-04                | 4,85E-04      | 2,70E-04                 | 1,55E-03                 | 7,30E-04          | 1,70E-03   | 3,48E-02         | 6,33E-05       | 8,35E-03       | 9,95E-05       | 4,95E-06       |
| 2009 | 2,84E-06  | 2,55E-05  | 1,25E-01                | 1,22E-09       | 7,80E-04                | 4,20E-04      | 2,39E-04                 | 1,83E-03                 | 7,04E-04          | 4,14E-03   | 3,12E-02         | 1,47E-04       | 1,25E-02       | 1,78E-04       | 5,26E-06       |
| 2010 | 8,08E-06  | 4,32E-05  | 8,35E-02                | 1,78E-09       | 4,37E-04                | 2,84E-04      | 1,80E-04                 | 2,93E-03                 | 7,58E-04          | 1,19E-02   | 2,47E-02         | 4,16E-04       | 2,66E-02       | 4,37E-04       | 6,90E-06       |
| 2011 | 3,01E-06  | 1,76E-05  | 4,49E-02                | 7,50E-10       | 2,53E-04                | 1,52E-04      | 9,25E-05                 | 1,21E-03                 | 5,03E-04          | 4,44E-03   | 1,25E-02         | 1,55E-04       | 1,04E-02       | 1,66E-04       | 2,98E-06       |
| 2012 | 2,24E-06  | 1,25E-05  | 2,85E-02                | 5,28E-10       | 1,56E-04                | 9,66E-05      | 5,98E-05                 | 8,58E-04                 | 4,45E-04          | 3,31E-03   | 8,24E-03         | 1,15E-04       | 7,55E-03       | 1,23E-04       | 2,07E-06       |
| 2013 | 6,01E-06  | 3,00E-05  | 4,32E-02                | 1,21E-09       | 2,01E-04                | 1,48E-04      | 9,95E-05                 | 2,02E-03                 | 5,05E-04          | 8,90E-03   | 1,42E-02         | 3,09E-04       | 1,92E-02       | 3,20E-04       | 4,57E-06       |
| 2014 | 1,29E-06  | 7,74E-06  | 2,12E-02                | 3,34E-10       | 1,21E-04                | 7,17E-05      | 4,32E-05                 | 5,35E-04                 | 3,36E-04          | 1,90E-03   | 6,06E-03         | 6,64E-05       | 4,50E-03       | 7,19E-05       | 1,34E-06       |
| 2015 | 1,55E-06  | 8,87E-06  | 2,15E-02                | 3,77E-10       | 1,19E-04                | 7,27E-05      | 4,46E-05                 | 6,09E-04                 | 3,22E-04          | 2,29E-03   | 6,21E-03         | 7,98E-05       | 5,28E-03       | 8,54E-05       | 1,49E-06       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 3,76E-07    | 9,57E-06    | 7,35E-02                  | 5,14E-10         | 4,76E-04                  | 2,46E-04        | 1,36E-04                   | 7,22E-04                   | 4,47E-04            | 5,08E-04     | 1,77E-02           | 1,98E-05         | 3,54E-03         | 3,85E-05         | 2,39E-06         |
| 2008 | 5,85E-07    | 1,01E-05    | 7,00E-02                  | 5,24E-10         | 4,51E-04                  | 2,35E-04        | 1,31E-04                   | 7,49E-04                   | 3,54E-04            | 8,23E-04     | 1,68E-02           | 3,06E-05         | 4,04E-03         | 4,82E-05         | 2,40E-06         |
| 2009 | 1,32E-06    | 1,19E-05    | 5,82E-02                  | 5,67E-10         | 3,63E-04                  | 1,96E-04        | 1,11E-04                   | 8,54E-04                   | 3,28E-04            | 1,93E-03     | 1,45E-02           | 6,85E-05         | 5,83E-03         | 8,31E-05         | 2,45E-06         |
| 2010 | 3,81E-06    | 2,03E-05    | 3,93E-02                  | 8,41E-10         | 2,06E-04                  | 1,34E-04        | 8,50E-05                   | 1,38E-03                   | 3,57E-04            | 5,63E-03     | 1,17E-02           | 1,96E-04         | 1,25E-02         | 2,06E-04         | 3,25E-06         |
| 2011 | 1,35E-06    | 7,87E-06    | 2,01E-02                  | 3,36E-10         | 1,13E-04                  | 6,79E-05        | 4,14E-05                   | 5,41E-04                   | 2,25E-04            | 1,99E-03     | 5,60E-03           | 6,95E-05         | 4,64E-03         | 7,45E-05         | 1,33E-06         |
| 2012 | 9,81E-07    | 5,49E-06    | 1,25E-02                  | 2,31E-10         | 6,84E-05                  | 4,23E-05        | 2,62E-05                   | 3,76E-04                   | 1,95E-04            | 1,45E-03     | 3,61E-03           | 5,05E-05         | 3,30E-03         | 5,37E-05         | 9,07E-07         |
| 2013 | 2,64E-06    | 1,32E-05    | 1,90E-02                  | 5,32E-10         | 8,85E-05                  | 6,49E-05        | 4,37E-05                   | 8,89E-04                   | 2,22E-04            | 3,91E-03     | 6,24E-03           | 1,36E-04         | 8,41E-03         | 1,41E-04         | 2,01E-06         |
| 2014 | 5,60E-07    | 3,36E-06    | 9,20E-03                  | 1,45E-10         | 5,26E-05                  | 3,11E-05        | 1,87E-05                   | 2,32E-04                   | 1,46E-04            | 8,24E-04     | 2,63E-03           | 2,88E-05         | 1,95E-03         | 3,12E-05         | 5,79E-07         |
| 2015 | 6,75E-07    | 3,86E-06    | 9,34E-03                  | 1,64E-10         | 5,20E-05                  | 3,16E-05        | 1,94E-05                   | 2,65E-04                   | 1,40E-04            | 9,95E-04     | 2,70E-03           | 3,47E-05         | 2,30E-03         | 3,71E-05         | 6,47E-07         |

# Anexo 9 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de Drenagem de águas residuais

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 1,36E-06  | 6,54E-06  | 7,00E-03                | 3,02E-10       | 3,28E-05                | 2,61E-05      | 1,85E-05                 | 4,61E-04                 | 4,24E-05          | 1,99E-03   | 1,64E-03         | 7,05E-05       | 4,30E-03       | 7,36E-05       | 1,14E-06       |
| 2007 | 1,19E-06  | 5,80E-06  | 6,72E-03                | 2,69E-10       | 3,26E-05                | 2,48E-05      | 1,73E-05                 | 4,09E-04                 | 3,81E-05          | 1,75E-03   | 1,58E-03         | 6,19E-05       | 3,79E-03       | 6,47E-05       | 1,02E-06       |
| 2008 | 1,97E-06  | 9,52E-06  | 1,04E-02                | 4,40E-10       | 4,92E-05                | 3,86E-05      | 2,73E-05                 | 6,71E-04                 | 6,19E-05          | 2,89E-03   | 2,40E-03         | 1,02E-04       | 6,25E-03       | 1,07E-04       | 1,67E-06       |
| 2009 | 1,65E-06  | 8,06E-06  | 9,46E-03                | 3,73E-10       | 4,62E-05                | 3,49E-05      | 2,43E-05                 | 5,69E-04                 | 5,31E-05          | 2,42E-03   | 2,19E-03         | 8,58E-05       | 5,26E-03       | 8,97E-05       | 1,42E-06       |
| 2010 | 5,60E-06  | 2,61E-05  | 2,08E-02                | 1,20E-09       | 8,26E-05                | 8,05E-05      | 6,17E-05                 | 1,84E-03                 | 1,61E-04          | 8,23E-03   | 4,63E-03         | 2,91E-04       | 1,75E-02       | 3,02E-04       | 4,48E-06       |
| 2011 | 2,95E-06  | 1,40E-05  | 1,29E-02                | 6,43E-10       | 5,64E-05                | 4,90E-05      | 3,61E-05                 | 9,84E-04                 | 8,84E-05          | 4,34E-03   | 2,92E-03         | 1,53E-04       | 9,28E-03       | 1,59E-04       | 2,42E-06       |
| 2012 | 9,96E-07  | 5,07E-06  | 7,54E-03                | 2,37E-10       | 3,98E-05                | 2,72E-05      | 1,80E-05                 | 3,59E-04                 | 3,52E-05          | 1,46E-03   | 1,76E-03         | 5,19E-05       | 3,24E-03       | 5,47E-05       | 9,10E-07       |
| 2013 | 1,47E-06  | 7,33E-06  | 9,73E-03                | 3,41E-10       | 4,96E-05                | 3,54E-05      | 2,40E-05                 | 5,18E-04                 | 4,95E-05          | 2,16E-03   | 2,28E-03         | 7,65E-05       | 4,73E-03       | 8,03E-05       | 1,30E-06       |
| 2014 | 2,36E-06  | 1,16E-05  | 1,40E-02                | 5,37E-10       | 6,90E-05                | 5,14E-05      | 3,55E-05                 | 8,18E-04                 | 7,68E-05          | 3,47E-03   | 3,21E-03         | 1,23E-04       | 7,54E-03       | 1,29E-04       | 2,04E-06       |
| 2015 | 2,06E-06  | 1,00E-05  | 1,11E-02                | 4,63E-10       | 5,30E-05                | 4,12E-05      | 2,90E-05                 | 7,05E-04                 | 6,53E-05          | 3,03E-03   | 2,54E-03         | 1,07E-04       | 6,56E-03       | 1,12E-04       | 1,75E-06       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 5,66E-07    | 2,76E-06    | 3,20E-03                  | 1,28E-10         | 1,55E-05                  | 1,18E-05        | 8,23E-06                   | 1,95E-04                   | 1,81E-05            | 8,31E-04     | 7,52E-04           | 2,94E-05         | 1,80E-03         | 3,08E-05         | 4,85E-07         |
| 2008 | 9,53E-07    | 4,61E-06    | 5,04E-03                  | 2,13E-10         | 2,38E-05                  | 1,87E-05        | 1,32E-05                   | 3,25E-04                   | 3,00E-05            | 1,40E-03     | 1,16E-03           | 4,96E-05         | 3,03E-03         | 5,18E-05         | 8,06E-07         |
| 2009 | 7,68E-07    | 3,76E-06    | 4,41E-03                  | 1,74E-10         | 2,15E-05                  | 1,63E-05        | 1,13E-05                   | 2,65E-04                   | 2,48E-05            | 1,13E-03     | 1,02E-03           | 4,00E-05         | 2,45E-03         | 4,18E-05         | 6,60E-07         |
| 2010 | 2,64E-06    | 1,23E-05    | 9,80E-03                  | 5,64E-10         | 3,89E-05                  | 3,80E-05        | 2,91E-05                   | 8,65E-04                   | 7,61E-05            | 3,88E-03     | 2,18E-03           | 1,37E-04         | 8,24E-03         | 1,42E-04         | 2,11E-06         |
| 2011 | 1,32E-06    | 6,26E-06    | 5,78E-03                  | 2,88E-10         | 2,52E-05                  | 2,19E-05        | 1,61E-05                   | 4,40E-04                   | 3,95E-05            | 1,94E-03     | 1,31E-03           | 6,87E-05         | 4,15E-03         | 7,13E-05         | 1,08E-06         |
| 2012 | 4,36E-07    | 2,22E-06    | 3,30E-03                  | 1,04E-10         | 1,74E-05                  | 1,19E-05        | 7,88E-06                   | 1,57E-04                   | 1,54E-05            | 6,41E-04     | 7,72E-04           | 2,27E-05         | 1,42E-03         | 2,40E-05         | 3,99E-07         |
| 2013 | 6,46E-07    | 3,22E-06    | 4,27E-03                  | 1,50E-10         | 2,18E-05                  | 1,56E-05        | 1,05E-05                   | 2,28E-04                   | 2,18E-05            | 9,48E-04     | 9,99E-04           | 3,36E-05         | 2,08E-03         | 3,53E-05         | 5,72E-07         |
| 2014 | 1,02E-06    | 5,03E-06    | 6,07E-03                  | 2,33E-10         | 2,99E-05                  | 2,23E-05        | 1,54E-05                   | 3,55E-04                   | 3,33E-05            | 1,50E-03     | 1,39E-03           | 5,33E-05         | 3,27E-03         | 5,57E-05         | 8,86E-07         |
| 2015 | 8,98E-07    | 4,35E-06    | 4,83E-03                  | 2,01E-10         | 2,31E-05                  | 1,79E-05        | 1,26E-05                   | 3,07E-04                   | 2,84E-05            | 1,32E-03     | 1,11E-03           | 4,67E-05         | 2,85E-03         | 4,88E-05         | 7,62E-07         |

**Anexo 10 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de Tratamento de águas residuais**

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 2,57E-03  | 1,05E-02  | 5,45E-01                | 1,88E-08       | 2,43E-03                | 1,69E-03      | 6,97E-04                 | 1,19E-02                 | 9,95E-04          | 2,84E-03   | 8,64E-01         | 4,78E-03       | 7,92E-02       | 5,06E-03       | 1,90E-05       |
| 2007 | 2,37E-03  | 1,00E-02  | 5,00E-01                | 1,96E-08       | 2,20E-03                | 1,57E-03      | 6,34E-04                 | 1,22E-02                 | 9,86E-04          | 3,11E-03   | 8,61E-01         | 4,40E-03       | 7,70E-02       | 4,69E-03       | 1,81E-05       |
| 2008 | 2,64E-03  | 1,08E-02  | 5,45E-01                | 1,96E-08       | 2,40E-03                | 1,67E-03      | 6,91E-04                 | 1,20E-02                 | 1,07E-03          | 3,21E-03   | 8,52E-01         | 4,98E-03       | 8,19E-02       | 5,23E-03       | 1,93E-05       |
| 2009 | 2,41E-03  | 1,01E-02  | 4,95E-01                | 1,95E-08       | 2,18E-03                | 1,51E-03      | 6,32E-04                 | 1,15E-02                 | 1,06E-03          | 3,28E-03   | 7,44E-01         | 4,54E-03       | 7,79E-02       | 4,74E-03       | 1,79E-05       |
| 2010 | 2,43E-03  | 1,07E-02  | 5,15E-01                | 1,46E-08       | 1,71E-03                | 1,44E-03      | 5,27E-04                 | 7,37E-03                 | 6,63E-04          | 1,02E-03   | 7,49E-01         | 6,45E-03       | 9,48E-02       | 6,39E-03       | 1,58E-05       |
| 2011 | 2,35E-03  | 1,15E-02  | 5,06E-01                | 2,35E-08       | 2,16E-03                | 1,56E-03      | 6,38E-04                 | 1,24E-02                 | 1,20E-03          | 3,66E-03   | 7,80E-01         | 3,30E-03       | 8,00E-02       | 3,72E-03       | 1,87E-05       |
| 2012 | 2,58E-03  | 1,03E-02  | 5,13E-01                | 2,11E-08       | 2,27E-03                | 1,58E-03      | 6,48E-04                 | 1,13E-02                 | 1,11E-03          | 3,14E-03   | 7,87E-01         | 2,55E-03       | 6,74E-02       | 2,97E-03       | 1,87E-05       |
| 2013 | 3,19E-03  | 1,23E-02  | 5,87E-01                | 2,04E-08       | 2,78E-03                | 1,71E-03      | 7,65E-04                 | 1,37E-02                 | 1,27E-03          | 4,27E-03   | 8,35E-01         | 4,41E-03       | 7,61E-02       | 4,62E-03       | 2,12E-05       |
| 2014 | 2,88E-03  | 1,03E-02  | 5,25E-01                | 1,93E-08       | 2,74E-03                | 1,74E-03      | 7,58E-04                 | 1,31E-02                 | 1,19E-03          | 3,97E-03   | 8,02E-01         | 5,16E-03       | 7,95E-02       | 5,47E-03       | 2,04E-05       |
| 2015 | 2,65E-03  | 9,66E-03  | 5,21E-01                | 2,14E-08       | 2,56E-03                | 1,65E-03      | 7,21E-04                 | 1,41E-02                 | 1,28E-03          | 4,70E-03   | 7,77E-01         | 4,85E-03       | 7,93E-02       | 5,16E-03       | 2,07E-05       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 1,13E-03    | 4,78E-03    | 2,38E-01                  | 9,32E-09         | 1,05E-03                  | 7,44E-04        | 3,01E-04                   | 5,79E-03                   | 4,69E-04            | 1,48E-03     | 4,10E-01           | 2,09E-03         | 3,66E-02         | 2,23E-03         | 8,60E-06         |
| 2008 | 1,28E-03    | 5,23E-03    | 2,64E-01                  | 9,51E-09         | 1,16E-03                  | 8,08E-04        | 3,34E-04                   | 5,82E-03                   | 5,20E-04            | 1,55E-03     | 4,13E-01           | 2,41E-03         | 3,97E-02         | 2,53E-03         | 9,33E-06         |
| 2009 | 1,12E-03    | 4,71E-03    | 2,31E-01                  | 9,09E-09         | 1,02E-03                  | 7,04E-04        | 2,94E-04                   | 5,38E-03                   | 4,94E-04            | 1,53E-03     | 3,47E-01           | 2,12E-03         | 3,63E-02         | 2,21E-03         | 8,36E-06         |
| 2010 | 1,15E-03    | 5,02E-03    | 2,43E-01                  | 6,86E-09         | 8,08E-04                  | 6,77E-04        | 2,48E-04                   | 3,48E-03                   | 3,12E-04            | 4,83E-04     | 3,53E-01           | 3,04E-03         | 4,47E-02         | 3,01E-03         | 7,44E-06         |
| 2011 | 1,05E-03    | 5,13E-03    | 2,26E-01                  | 1,05E-08         | 9,66E-04                  | 7,00E-04        | 2,86E-04                   | 5,56E-03                   | 5,37E-04            | 1,64E-03     | 3,49E-01           | 1,48E-03         | 3,58E-02         | 1,67E-03         | 8,36E-06         |
| 2012 | 1,13E-03    | 4,51E-03    | 2,25E-01                  | 9,23E-09         | 9,93E-04                  | 6,92E-04        | 2,84E-04                   | 4,96E-03                   | 4,86E-04            | 1,38E-03     | 3,45E-01           | 1,12E-03         | 2,95E-02         | 1,30E-03         | 8,21E-06         |
| 2013 | 1,40E-03    | 5,38E-03    | 2,58E-01                  | 8,98E-09         | 1,22E-03                  | 7,52E-04        | 3,36E-04                   | 6,02E-03                   | 5,58E-04            | 1,88E-03     | 3,67E-01           | 1,94E-03         | 3,34E-02         | 2,03E-03         | 9,33E-06         |
| 2014 | 1,25E-03    | 4,48E-03    | 2,28E-01                  | 8,36E-09         | 1,19E-03                  | 7,53E-04        | 3,29E-04                   | 5,66E-03                   | 5,15E-04            | 1,72E-03     | 3,48E-01           | 2,24E-03         | 3,45E-02         | 2,37E-03         | 8,87E-06         |
| 2015 | 1,15E-03    | 4,20E-03    | 2,27E-01                  | 9,31E-09         | 1,11E-03                  | 7,19E-04        | 3,14E-04                   | 6,15E-03                   | 5,58E-04            | 2,04E-03     | 3,38E-01           | 2,11E-03         | 3,45E-02         | 2,24E-03         | 9,03E-06         |



**Anexo 11 – Evolução dos resultados da avaliação de ciclo de vida (em cima) e da ecoeficiência (em baixo) da etapa de Serviços Administrativos**

|      | EAD       | EM        | AC                      | DCO            | AT                      | FOF           | FMP                      | RI                       | DA                | DM         | DCF              | ETAD           | TH             | ETM            | ET             |
|------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      | (kg P eq) | (kg N eq) | (kg CO <sub>2</sub> eq) | (kg CFC-11 eq) | (kg SO <sub>2</sub> eq) | (kg NMVOC eq) | (kg PM <sub>10</sub> eq) | (kg U <sub>235</sub> eq) | (m <sup>3</sup> ) | (kg Fe eq) | (kg petróleo eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) | (kg 1,4-DB eq) |
| 2006 | 7,11E-08  | 7,75E-06  | 5,06E-02                | 2,50E-10       | 2,90E-04                | 2,25E-04      | 7,23E-05                 | 3,37E-04                 | 5,99E-05          | 1,16E-05   | 1,33E-02         | 1,71E-06       | 1,27E-03       | 1,46E-05       | 1,10E-06       |
| 2007 | 7,58E-08  | 8,16E-06  | 5,27E-02                | 2,58E-10       | 3,01E-04                | 2,37E-04      | 7,45E-05                 | 3,47E-04                 | 6,14E-05          | 1,21E-05   | 1,39E-02         | 1,77E-06       | 1,30E-03       | 1,52E-05       | 1,12E-06       |
| 2008 | 9,98E-08  | 9,95E-06  | 5,96E-02                | 2,69E-10       | 3,27E-04                | 2,87E-04      | 7,73E-05                 | 3,60E-04                 | 6,09E-05          | 1,38E-05   | 1,62E-02         | 1,93E-06       | 1,31E-03       | 1,71E-05       | 1,13E-06       |
| 2009 | 9,09E-08  | 9,21E-06  | 5,61E-02                | 2,58E-10       | 3,10E-04                | 2,66E-04      | 7,43E-05                 | 3,46E-04                 | 5,92E-05          | 1,30E-05   | 1,51E-02         | 1,83E-06       | 1,26E-03       | 1,61E-05       | 1,09E-06       |
| 2010 | 9,19E-08  | 9,29E-06  | 5,65E-02                | 2,59E-10       | 3,12E-04                | 2,68E-04      | 7,46E-05                 | 3,47E-04                 | 5,94E-05          | 1,31E-05   | 1,52E-02         | 1,84E-06       | 1,27E-03       | 1,62E-05       | 1,10E-06       |
| 2011 | 8,77E-08  | 8,76E-06  | 5,26E-02                | 2,38E-10       | 2,88E-04                | 2,53E-04      | 6,83E-05                 | 3,18E-04                 | 5,39E-05          | 1,22E-05   | 1,42E-02         | 1,70E-06       | 1,15E-03       | 1,51E-05       | 1,00E-06       |
| 2012 | 9,41E-08  | 9,45E-06  | 5,70E-02                | 2,59E-10       | 3,14E-04                | 2,73E-04      | 7,45E-05                 | 3,47E-04                 | 5,90E-05          | 1,32E-05   | 1,54E-02         | 1,85E-06       | 1,26E-03       | 1,64E-05       | 1,09E-06       |
| 2013 | 9,50E-08  | 9,53E-06  | 5,75E-02                | 2,61E-10       | 3,16E-04                | 2,75E-04      | 7,51E-05                 | 3,50E-04                 | 5,95E-05          | 1,33E-05   | 1,55E-02         | 1,87E-06       | 1,27E-03       | 1,65E-05       | 1,10E-06       |
| 2014 | 9,04E-08  | 9,18E-06  | 5,60E-02                | 2,58E-10       | 3,10E-04                | 2,65E-04      | 7,42E-05                 | 3,46E-04                 | 5,92E-05          | 1,29E-05   | 1,51E-02         | 1,83E-06       | 1,26E-03       | 1,61E-05       | 1,09E-06       |
| 2015 | 8,62E-08  | 8,67E-06  | 5,23E-02                | 2,39E-10       | 2,88E-04                | 2,50E-04      | 6,85E-05                 | 3,19E-04                 | 5,43E-05          | 1,21E-05   | 1,41E-02         | 1,70E-06       | 1,16E-03       | 1,50E-05       | 1,01E-06       |

|      | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2007 | 3,60E-08    | 3,88E-06    | 2,51E-02                  | 1,23E-10         | 1,43E-04                  | 1,13E-04        | 3,54E-05                   | 1,65E-04                   | 2,92E-05            | 5,77E-06     | 6,60E-03           | 8,43E-07         | 6,19E-04         | 7,21E-06         | 5,35E-07         |
| 2008 | 4,84E-08    | 4,82E-06    | 2,89E-02                  | 1,30E-10         | 1,58E-04                  | 1,39E-04        | 3,74E-05                   | 1,74E-04                   | 2,95E-05            | 6,68E-06     | 7,83E-03           | 9,34E-07         | 6,32E-04         | 8,30E-06         | 5,47E-07         |
| 2009 | 4,24E-08    | 4,29E-06    | 2,62E-02                  | 1,20E-10         | 1,45E-04                  | 1,24E-04        | 3,46E-05                   | 1,61E-04                   | 2,76E-05            | 6,04E-06     | 7,04E-03           | 8,54E-07         | 5,90E-04         | 7,52E-06         | 5,10E-07         |
| 2010 | 4,33E-08    | 4,38E-06    | 2,66E-02                  | 1,22E-10         | 1,47E-04                  | 1,26E-04        | 3,51E-05                   | 1,64E-04                   | 2,80E-05            | 6,15E-06     | 7,17E-03           | 8,68E-07         | 5,98E-04         | 7,65E-06         | 5,17E-07         |
| 2011 | 3,93E-08    | 3,92E-06    | 2,35E-02                  | 1,06E-10         | 1,29E-04                  | 1,13E-04        | 3,06E-05                   | 1,42E-04                   | 2,41E-05            | 5,44E-06     | 6,37E-03           | 7,62E-07         | 5,17E-04         | 6,76E-06         | 4,47E-07         |
| 2012 | 4,12E-08    | 4,14E-06    | 2,50E-02                  | 1,14E-10         | 1,37E-04                  | 1,19E-04        | 3,26E-05                   | 1,52E-04                   | 2,59E-05            | 5,77E-06     | 6,75E-03           | 8,10E-07         | 5,53E-04         | 7,17E-06         | 4,79E-07         |
| 2013 | 4,17E-08    | 4,18E-06    | 2,52E-02                  | 1,15E-10         | 1,39E-04                  | 1,21E-04        | 3,30E-05                   | 1,54E-04                   | 2,61E-05            | 5,83E-06     | 6,82E-03           | 8,19E-07         | 5,59E-04         | 7,25E-06         | 4,84E-07         |
| 2014 | 3,92E-08    | 3,98E-06    | 2,43E-02                  | 1,12E-10         | 1,34E-04                  | 1,15E-04        | 3,22E-05                   | 1,50E-04                   | 2,57E-05            | 5,61E-06     | 6,53E-03           | 7,93E-07         | 5,49E-04         | 6,98E-06         | 4,75E-07         |
| 2015 | 3,75E-08    | 3,77E-06    | 2,28E-02                  | 1,04E-10         | 1,25E-04                  | 1,09E-04        | 2,98E-05                   | 1,39E-04                   | 2,36E-05            | 5,26E-06     | 6,15E-03           | 7,40E-07         | 5,06E-04         | 6,55E-06         | 4,38E-07         |

**Anexo 12 – Avaliação das medidas a implementar para a melhoria da ecoeficiência. Resultados (em cima) e percentagem de variação (em baixo)**

|                               | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                               | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| 2015                          | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,33E-01                  | 1,21E-08         | 3,54E-03                  | 2,04E-03        | 1,00E-03                   | 1,00E-02                   | 1,33E-03            | 4,45E-03     | 4,31E-01           | 2,20E-03         | 5,40E-02         | 2,45E-03         | 2,28E-05         |
| Carros Elétricos              | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,28E-01                  | 1,21E-08         | 3,52E-03                  | 2,02E-03        | 1,00E-03                   | 9,99E-03                   | 1,33E-03            | 4,44E-03     | 4,29E-01           | 2,20E-03         | 5,39E-02         | 2,45E-03         | 2,28E-05         |
| Painéis Solares               | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,24E-01                  | 1,20E-08         | 3,48E-03                  | 2,01E-03        | 9,87E-04                   | 9,87E-03                   | 1,31E-03            | 4,44E-03     | 4,19E-01           | 2,20E-03         | 5,36E-02         | 2,44E-03         | 2,26E-05         |
| Cogeração Freixo              | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,18E-01                  | 1,20E-08         | 3,44E-03                  | 1,99E-03        | 9,76E-04                   | 9,88E-03                   | 1,30E-03            | 4,44E-03     | 4,27E-01           | 2,20E-03         | 5,34E-02         | 2,44E-03         | 2,24E-05         |
| Redução de perdas para 19,24% | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,29E-01                  | 1,21E-08         | 3,51E-03                  | 2,03E-03        | 9,96E-04                   | 9,96E-03                   | 1,31E-03            | 4,44E-03     | 4,30E-01           | 2,20E-03         | 5,38E-02         | 2,45E-03         | 2,27E-05         |
| Redução de perdas para 15 %   | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,11E-01                  | 1,20E-08         | 3,40E-03                  | 1,97E-03        | 9,65E-04                   | 9,81E-03                   | 1,26E-03            | 4,44E-03     | 4,25E-01           | 2,20E-03         | 5,31E-02         | 2,44E-03         | 2,21E-05         |
| Painéis + Cogeração           | 1,15E-03    | 4,25E-03    | 6,01E-01                  | 1,19E-08         | 3,33E-03                  | 1,93E-03        | 9,45E-04                   | 9,68E-03                   | 1,27E-03            | 4,43E-03     | 4,14E-01           | 2,20E-03         | 5,28E-02         | 2,43E-03         | 2,19E-05         |

|                               | EAD         | EM          | AC                        | DCO              | AT                        | FOF             | FMP                        | RI                         | DA                  | DM           | DCF                | ETAD             | TH               | ETM              | ET               |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                               | (kg P eq/€) | (kg N eq/€) | (kg CO <sub>2</sub> eq/€) | (kg CFC-11 eq/€) | (kg SO <sub>2</sub> eq/€) | (kg NMVOC eq/€) | (kg PM <sub>10</sub> eq/€) | (kg U <sub>235</sub> eq/€) | (m <sup>3</sup> /€) | (kg Fe eq/€) | (kg petróleo eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) | (kg 1,4-DB eq/€) |
| Carros Elétricos              | 0,00%       | -0,02%      | -0,78%                    | -0,08%           | -0,42%                    | -1,26%          | -0,30%                     | -0,12%                     | -0,03%              | -0,03%       | -0,37%             | -0,01%           | -0,03%           | -0,06%           | -0,07%           |
| Painéis Solares               | -0,01%      | -0,03%      | -1,55%                    | -0,86%           | -1,74%                    | -1,71%          | -1,69%                     | -1,32%                     | -1,02%              | -0,20%       | -2,66%             | -0,04%           | -0,62%           | -0,44%           | -1,30%           |
| Cogeração Freixo              | 0,00%       | -0,04%      | -2,37%                    | -0,78%           | -2,78%                    | -2,47%          | -2,75%                     | -1,28%                     | -1,91%              | -0,08%       | -0,82%             | -0,03%           | -0,97%           | -0,18%           | -1,97%           |
| Redução de perdas para 19,24% | 0,00%       | -0,01%      | -0,72%                    | -0,24%           | -0,78%                    | -0,71%          | -0,78%                     | -0,39%                     | -1,05%              | -0,02%       | -0,24%             | -0,01%           | -0,32%           | -0,06%           | -0,65%           |
| Redução de perdas para 15 %   | 0,00%       | -0,06%      | -3,59%                    | -1,18%           | -3,87%                    | -3,51%          | -3,85%                     | -1,93%                     | -5,20%              | -0,11%       | -1,18%             | -0,04%           | -1,57%           | -0,28%           | -3,22%           |
| Painéis + Cogeração           | -0,01%      | -0,09%      | -5,15%                    | -2,04%           | -5,96%                    | -5,45%          | -5,87%                     | -3,27%                     | -3,92%              | -0,31%       | -3,91%             | -0,08%           | -2,10%           | -0,71%           | -4,29%           |